



Hochschule Merseburg (FH) - University of Applied Sciences

Fachbereich: Ingenieur- und Naturwissenschaften

**Abschlussarbeit**  
**zur Erlangung des akademischen Grades**  
**Bachelor of Engineering**

Diagnose und Retrofit Hard-/Software

Industrie 4.0-Anlage

Verfasser: Fabian Heydenhauß

Studiengang: Automatisierungstechnik (BAIT18)

Matrikelnummer: 25052

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Peter Helm

Dipl.-Ing. Ralph Seela

vorgelegt am: 18.07.2022

# Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit (entsprechend der genannten Verantwortlichen) selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere weiterhin, dass die auf elektronischen Wege eingereichten Unterlagen mit den schriftlichen Ausfertigungen übereinstimmen.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung	9
1.1 Motivation	9
1.2 Aufgabenstellung	9
2 Begriffsklärung	11
2.1 Entwicklung zur Industrie 4.0	11
2.2 Automatisierung	14
2.3 Human-Machine-Interface	16
2.4 Erstellung industrieller Anlagen	16
2.4.1 Modularität	16
2.4.2 Referenzarchitekturmodell	18
2.4.3 Sicherheitsaspekte der Maschine	19
2.4.4 IO Link	21
2.4.5 Mensch-Maschine-Interaktion	24
2.4.6 Bussysteme zur industriellen Kommunikation	26
2.4.6.1 ISO/OSI-Referenzmodell	26
2.4.6.2 Feldbus	27
2.4.6.3 Topologien	27
2.4.6.4 PROFIBUS	28
2.4.6.5 PROFINET	30

2.5	Zukünftige Entwicklung	30
3	Beispielanlage der Hochschule	31
3.1	Genereller Aufbau	31
3.2	Funktionsweise/Anwendung	32
4	Visualisierung der Anlage durch WinCC	33
4.1	Grundlegende Informationen zu WinCC	33
4.2	Funktionen der Visualisierung	33
4.2.1	Kommunikation	33
4.2.2	HMI Variablen	34
4.2.3	HMI Meldungen	35
4.2.4	Grafiken	36
4.2.5	VB Skript	36
4.2.6	Bilder	37
4.2.7	Rezepturen	38
4.2.8	Zyklen	38
4.3	HMI-Visualisierung	39
4.3.1	Variablenliste	39
4.3.2	Verwendete HMI-Elemente	41
4.3.3	Gestaltung der Oberfläche	42
5	Zusammenfassung und Ausblick	44
5.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse	44
5.2	Ausblick	44
	Literaturverzeichnis	46
	Anlagen	49

# Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bus	Bidirectional Universal Switch
CPU	Central Processing Unit
DIN	Deutsches Institut für Normung
DP	Decentralized Periphery
E/A	Eingabe/Ausgabe
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
ER	Entity-Relationship
etc	et cetera
EU	Europäische Union
FMS	Field Message Specification
FUP	Funktionsplan
ggf.	gegebenenfalls
HMI	Human Machine Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IEC	International Electrotechnical Commission
INW	Ingenieur- und Naturwissenschaften
IO	Input/Output
IP	Internet Protocol
ISO/OSI	International Organization for Standardization/Open Systems Interconnection
IT	Informationstechnologie
JPG/JPEG	Joint Photographic Experts Group

LVL	Limited Variability Language
MABA	Man are better at - Machines are better at
MES	Manufacturing Execution System
PA	Process Automation
PLS	Prozessleitsystem
PROFIBUS	Process Field Bus
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RFID	Radio-Frequency Identification
SPS (PLC)	Speicherprogrammierbare Steuerung
SPEC	Specification
TCP	Transmission Control Protocol
TIA	Totally Integrated Automation
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WinCC	Windows Control Center
WT	Werkstückträger
z.B.	zum Beispiel

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1-1:	Schema zur Verschiebung der Industriezweige	12
Abb. 2.1-2:	Planung einer industriellen Anlage	13
Abb. 2.2-1:	Einsatzgebiete der Automatisierungstechnik	14
Abb. 2.2-2:	Schema zu den Automatisierungsebenen	15
Abb. 2.4.1-1:	Schema zur Beziehung Hersteller/Anwender	17
Abb. 2.4.2-1:	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0	18
Abb. 2.4.3-1:	Risikoanalyse bei der Veränderung eines Systems	20
Abb. 2.4.4-1:	Vereinfachter Aufbau eines IO-Link-Systems	22
Abb. 2.4.4-2:	Signalübertragung bei IO-Link-Systemen	23
Abb. 2.4.5-1:	Farbcodierung der Sicherheitsfarben	25
Abb. 2.4.6.3-1:	Grundstrukturen von Bussystemen	27
Abb. 2.4.6.4-1:	Token-Passing-Verfahren	29
Abb. 3.1-1:	SIMATIC HMI TP700 Comfort	31
Abb. 3.1-2:	SIMATIC HMI TP2200 Comfort	31
Abb. 3.1-1:	CPU1512SP-1 PN [BDS]	31
Abb. 4.2.3-1:	Gruppen der HMI-Meldungen	35
Abb. 4.2.5-1:	VBS-Zugriffsverfahren [TIA]	37

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells	26
Tabelle 2:	Ein-/Ausgangsvariablen Station 1	39
Tabelle 3:	Ein-/Ausgangsvariablen Station 2	40
Tabelle 4:	Ein-/Ausgangsvariablen Station 3	41

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Heutzutage sind automatisierte Anlagen in der Industrie fast nicht mehr wegzudenken und sie gewinnen weiter an Bedeutung. Durch die steigende Vernetzung der Maschinen spielen Leistungsfähigkeit und Echtzeitfähigkeit in der Industrie 4.0 eine entscheidende Rolle.

Infolgedessen erhöht sich auch die Komplexität im Aufbau und in der Funktionsweise der eingesetzten Geräte. Umso wichtiger ist es, eine geeignete Schnittstelle zur Interaktion zwischen Bediener und Maschine zu schaffen. Bedienfreundlichkeit und Übersichtlichkeit stehen dabei an oberster Stelle.

Das Human-Machine-Interface (HMI) schafft dabei Abhilfe, indem es durch einfache programmierbare Bausteine zur Visualisierung beiträgt. Es können Daten aus der Maschine erfasst und Vorgaben durch den Bediener an die Maschine gegeben werden. Insbesondere ist es bei großen Anlagen für den Bediener eine Notwendigkeit alle essenziellen Daten auf einen Blick erfassen zu können, um ggf. Änderungen vorzunehmen oder in Gefahrensituationen schnell zu reagieren.

Zusätzlich werden externe Prozesse beschleunigt, um ggf. Wartungen an der Maschine durchzuführen bzw. defekte Geräte schneller identifizieren und austauschen zu können.

## 1.2 Aufgabenstellung

Diese Bachelorarbeit umfasst das Thema der Diagnose einer Industrie 4.0 Anlage der Hochschule Merseburg im Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften (INW).

Konkret handelt es sich um eine Sonderanlage, in der Gefäße je nach gewählter Rezeptur mit Kaffeebohnen und/oder Mais befüllt werden können. Dabei werden die grundlegenden Aufgaben in drei separaten Stationen bearbeitet, die im weiteren Verlauf der Arbeit näher erläutert werden.

Zunächst ist es notwendig die Wiederinbetriebnahme der Anlage unter dem Aspekt "Retrofit" zu gewährleisten, um darauf aufbauend eine erweiternde Visualisierung auf einem dafür vorgesehenen HMI zu erstellen. Dieses soll Prozessdaten der gesamten Anlage veranschaulicht darstellen. Zusätzlich soll die Anlage auf eine neuere Version des Softwarepaketes TIA-Portal (V13 auf V16) hochgerüstet werden. Dazu müssen die Projekte in das neue Programm übertragen werden. Hierzu bietet TIA eine Aktualisierung der Programme auf eine neuere Version an. Es müssen zusätzlich die IP-Adressen der Geräte manuell angepasst werden.

Die Anlage wird ausschließlich zu Lehrzwecken genutzt. Ziel ist es, den Studenten und Schülern die Möglichkeiten der heutigen und zukünftigen Industrie weitestgehend aufzuzeigen und einen kleinen Einblick für spätere praktische Aufgaben im Bereich der Automation zu veranschaulichen.

## 2 Begriffsklärung

### 2.1 Entwicklung zur Industrie 4.0

Jedes Zeitalter ist vom Wandel geprägt. Durch neue Innovationen und Erfindungen öffnen sich neue Märkte, die es zu bedienen gilt. Technologien werden modernisiert, der Anspruch an einem gewissen Maß an Qualität steigt und die Industrie passt sich diesen neuen Standards an. Für diese Merkmale steht der Begriff Industrie 4.0 wie kein Zweiter. Er beschreibt das Überschreiten alter Grenzen und ihm selber sind durch den Fortschritt in der Digitalisierung im Grunde keine Grenzen gesetzt.

Seit Beginn der Industrialisierung werden Maschinen immer fortschrittlicher. So wurde der Fokus damals eher auf mechanische Systeme gelegt. Dieser richtete sich nun im Laufe der Zeit zu Maschinen mit elektrotechnischen Komponenten. Elektronikbasierte Geräte lösten allmählich mehr und mehr mechanische Komponenten ab. Die neuen elektrischen Bauteile dominierten nun den Markt.

Dazu kamen neue softwareunterstützte Systeme, die in ihrer Präzision und Zuverlässigkeit zur damaligen Zeit das Maß aller Dinge waren. Sie waren flexibel einsetzbar und wurden mit der Zeit immer leistungsfähiger. Ein entscheidender Fakt, der schlussendlich zur Ablösung mechanischer Komponenten führte, war der Preis vieler elektronischer Bauteile. Durch das neue hohe Angebot im neuen Industriesektor konnten sie im Vergleich zu komplexen mechanischen Komponenten sehr kostengünstig erworben werden [Sch18].

Damit ist die Entwicklung aber noch lange nicht am Ende. Durch das Internet ist es heutzutage möglich, sich global mit anderen Systemen zu vernetzen. Es besteht eine weltweite Verfügbarkeit und eine schier grenzenlose Kommunikation zwischen Systemen. Mit den neuen Möglichkeiten steigt auch der Anspruch an Menschen und Maschine. Die Anforderungen an die Automatisierungstechnik und Informationstechnik sind sehr hoch und sie steigen weiter. Ein Faktor hat jedoch den Wandel der Industrie überdauert, die Zeit. Der Anspruch der Automatisierungstechnik sollte es sein, neue Verfahren zu entwickeln, um technische Prozesse zu beschleunigen. Dabei ist es jedoch von großer Bedeutung das Endprodukt mit gleicher oder auch höherer Qualität herzustellen. Ein erster Schritt ist der Einsatz neuer Robotertechnik. Es ist ihnen möglich über einen ganzen Zeitraum den gleichen Arbeitsschritt mit gleicher Güte zu erfüllen. Auch aus wirtschaftlicher Sicht haben sie gegenüber dem Menschen die Oberhand. Zudem können diese rund um die Uhr zu arbeiten und sind im Verhältnis auch preisgünstiger. Sie müssen nur in bestimmten Intervallen gewartet werden. Infolgedessen ist es klar, dass der Roboter immer weiter Arbeiten des Menschen übernimmt. Trotz dessen ist es den Robotern in der heutigen Zeit noch nicht möglich den Menschen komplett aus der Industrie zu verdrängen. Es benötigt zwar weniger

„Manpower“, jedoch steigen an den Menschen die Anforderungen mit stetig wachsender Komplexität der technischen Anlagen.

Es gilt die Anlagen und dessen Abläufe zu verstehen, aber auch nach ihrer Sinnhaftigkeit zu hinterfragen. Der Bereich der Informatik wird immer wichtiger, um industrielle Abläufe nachvollziehen zu können. Die Beherrschung der Software ist für den Verantwortlichen mittlerweile unabdingbar. In Abb. 2.1-1 wird die Verschiebung der Qualifikationen veranschaulicht.



Abb. 2.1-1: Schema zur Verschiebung der Industriezweige [Sch18, S.20]

Jedoch spielt auch der Aspekt der Wirtschaftlichkeit eine Rolle. Es steht die Frage der Rentabilität im Raum. Große Anlagen sind in der Anschaffung sehr teuer und wurden früher genau auf deren spätere Aufgabe angepasst. In Abb. 2.1-2 wird die Planung einer Industrie 4.0-Anlage veranschaulicht. Eine Maschine bearbeitet über ihre ganze Einsatzzeit einen Prozess. Verändert sich dieser, muss die Anlage ebenfalls verändert, wenn nicht sogar ersetzt, werden. Diese Sondermaschinen sind in der heutigen Zeit nur noch bedingt vorstellbar. Die Effizienz steht mittlerweile im Mittelpunkt. Der Begriff der Serienmaschine findet hier seine Anwendung. Maschinen werden auf ihre Grundaufgabe vereinfacht, um so grundlegende Prozesse in vielen Industriezweigen abzudecken. Die Individualisierung der Anlagen hält sich dabei in Grenzen. Daher senken sich zwar Kosten, jedoch besteht die Gefahr der Qualitätsminderung. Dies gilt es unbedingt zu vermeiden. Schlussendlich muss ein Kompromiss zwischen Serien- und Sondermaschine gefunden werden. Die Lösung ist eine individualisierte Anlage mit

Serienmaschinencharakter. Dafür wird hauptsächlich das Verfahren der modularen Bauweise angewandt [Sch18]. Im Zuge der Digitalisierung gewinnt vor allem für Unternehmen kleinerer und mittlerer Größe der Begriff „Retrofit“ zunehmend an Bedeutung. Der Begriff setzt sich aus dem lateinischen Wort „retro“ für rückwärts und dem englischen Wort „fit“ für anpassen zusammen. In Bezug auf die Industrie ist hiermit die Anlagenmodernisierung gemeint. Anstatt einer technisch in die Jahre gekommene Maschine durch eine neuere Maschine zu ersetzen, wählt man meist aus Kostengründen die Möglichkeit der Aufrüstung. Die alte Maschine wird durch den Umbau, z.B. Einsatz neuer Sensorik, auf einen neueren bzw. den neuesten Stand der Technik gebracht, um weiterhin den technischen Standards zu entsprechen.

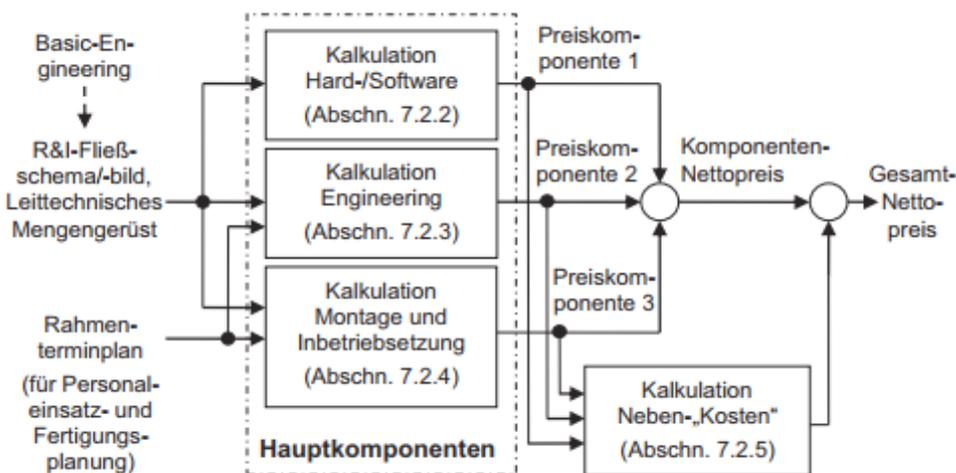


Abb. 2.1-2: Planung einer industriellen Anlage [Bin21, S.260]

Proportional zur wachsenden Komplexität steigt auch der Aufwand in der Instandhaltung der Anlage. Es müssen neue effektivere Wege der Fehlersuche und Wartung entwickelt werden, um auch in diesem Bereich eine höhere Anlagenverfügbarkeit zu ermöglichen. Dazu ist es nötig Anlagendaten für Wartungs- und Optimierungsstrategien zu sammeln. Es werden Instandhaltungsprozesse teilweise automatisiert, um eine flexible Prozessgestaltung zu gewährleisten. So wird z.B. die Produktumstellung einer Verpackungsmaschine signifikant beschleunigt. Der Mensch rückt dabei immer mehr in den Hintergrund. Er besitzt in vielen Fällen lediglich eine Überwachungsfunktion.

## 2.2 Automatisierung

Das Automatisieren bzw. die Automation bedeutet grundlegend das Einsetzen künstlicher Mittel, damit Prozesse selbstständig ausgeführt werden können. Die genaue Beschreibung ist in der DIN 19 233 festgehalten.

Der Automatisierung wird bis jetzt kein konkreter fachlicher Inhalt zugeschrieben. Es werden nur Bereiche für ihren Einsatz definiert. Folgende Kernfelder werden als Basistechniken der Automatisierung beschrieben:

- Sensor- und Aktortechnik
- Regelungstechnik
- Steuerungstechnik
- Leittechnik
- Robotertechnik [Rei17]

Weitere Einsatzgebiete, in der die Automatisierungstechnik integriert ist, werden in Abb. 2.2-1 aufgezeigt.

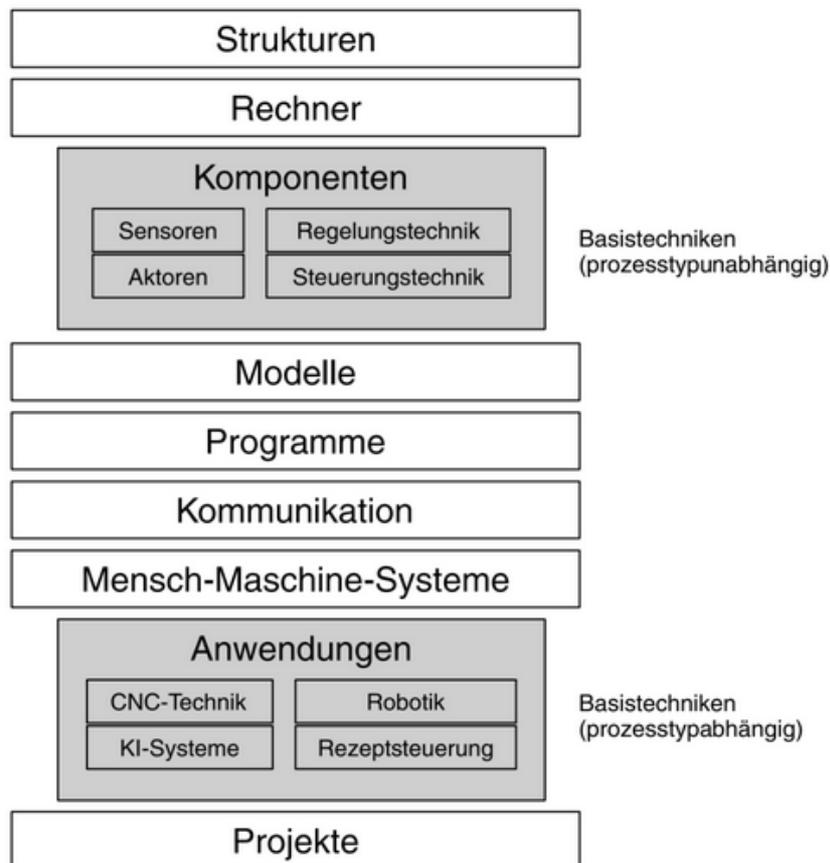


Abb. 2.2-1: Einsatzgebiete der Automatisierungstechnik [Rei17, S.19]

Es lässt sich deutlich erkennen, wie stark gewisse Automatisierungssysteme bereits in der Organisation wirtschaftlicher und industrieller Prozesse verankert sind. Sie gewinnen immer mehr an Relevanz und werden immer unscheinbarer für den Menschen. Technische Systeme übernehmen die wichtigsten Aufgaben und sammeln Daten, die vom Menschen überwacht werden, um ggf. Korrekturen vorzunehmen. In der Industrie haben sich dabei vor allem Geräte der speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) und Prozessleitsysteme (PLS) durchgesetzt. Sie besitzen zusätzlich zu Ein/Ausgabe-Baugruppen Schnittstellen zur Kommunikation zwischen den verschiedenen Automatisierungsebenen (Abb. 2.2-2).

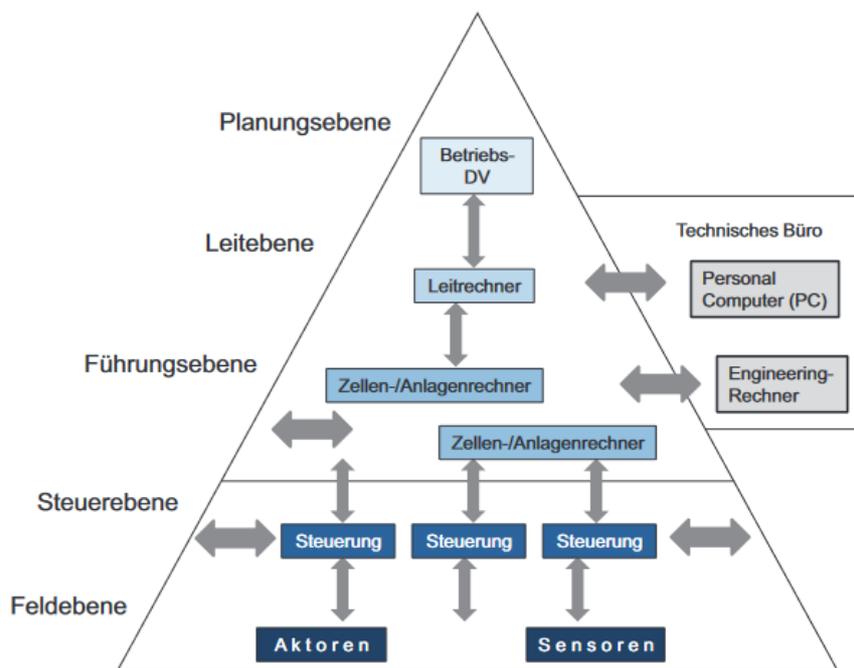


Abb. 2.2-2: Schema zur den Automatisierungsebenen [Rei21, S.2]

In der Feldebene werden Daten von Sensoren gesammelt. Diese werden von mehreren miteinander vernetzten Regel- und Steuergeräten in der Steuerebene erfasst. Hierbei wird zwischen Schaltsignalen und analogen Prozesswerten unterschieden. Anschließend werden die Signale an die Aktorik übergeben, um in den Prozess einzugreifen. Gesammelte Prozessdaten werden über die Führungsebene an die Leitebene übergeben und gespeichert.

Ziel der Automatisierung ist es, Prozesse durch selbstständige Arbeitsweise zu beschleunigen und die Qualität des Endproduktes zu erhöhen. Außerdem spielt die Einsparung von Energie und Rohstoffen eine entscheidende Rolle in der Planung und Umsetzung von Automatisierungssystemen, was vor allem im Bereich der

Wirtschaftlichkeit unabdingbar ist. Weiterhin sollen durch automatisierte Prozesse der Schutz des Menschen (Verrichtung von schwerer monotoner Arbeit durch Maschinen), der Umwelt (Energieeffizienz) und der Maschine (Sicherheitseinrichtungen) gewährleistet und verbessert werden [Rei17].

## **2.3 Human-Machine-Interface**

Als HMI ("Human Machine Interface") bezeichnet man eine Benutzeroberfläche zwischen Mensch und Maschine, welche eine Interaktion des Menschen mit der Maschine ermöglicht. Es dient dazu, die Maschine zu bedienen, Prozesswerte zu überwachen und Parameteränderungen an das System zu übergeben. Heutzutage kommen meist Touchpanels oder klassische PCs zur Realisierung geeigneter Mensch-Maschine-Schnittstellen zum Einsatz [Kam12]. Besonders im Bereich der Automatisierungs- und Prozesstechnik spielt die Projektierung relevanter Prozessdaten eine wichtige Rolle. Dafür ist das HMI maßgeblich verantwortlich. Mittlerweile sind der Gestaltung solcher Oberflächen kaum Grenzen gesetzt. Zur Visualisierung können viele Gestaltungsmittel, z.B. Grafiken, Diagramme, Bilder, verwendet werden, jedoch sollte man auf die Einfachheit der Bedienung und Überwachung der Anlage achten.

## **2.4 Erstellung industrieller Anlagen**

### **2.4.1 Modularität**

Wie schon im vorherigen Kapitel beschrieben, bildet die Modularisierung einen geeigneten Kompromiss zur Erstellung einer technischen Anlage. Als Modularität bezeichnet man die Zerlegung eines Gesamtsystems in für die Aufgabe sinnvolle Einzelkomponenten, um trotz der Individualisierung einen gewissen Seriencharakter zu wahren [Sch18]. Diese Zerteilung findet auf Hardware- und Softwareebene statt. Über vorgesehene Schnittstellen werden die Module zu größeren komplexen Einheiten zusammengefügt und es ist ihnen möglich miteinander zu kommunizieren und zu interagieren. Dazu ist es notwendig, zu Beginn ein gewisses Maß an Kompatibilität zu gewährleisten [Wie05]. Es muss sichergestellt sein, dass einzelne Module ohne großen Aufwand und ohne schnittstellenbehafte Probleme ausgetauscht werden können. Weiterhin sollte es dem Kunden möglich sein, selbst Umrüstungen und Wartungen vorzunehmen. Das bringt auch dem Hersteller Vorteile, z.B. können kundenneutrale Komponenten schon vorher integriert werden. In [Sch18, S.47 f.] werden drei grundlegende Typen der Modularisierung deklariert.

Typ 1 beschreibt eine Form der autonomen Module. Es sind in sich geschlossene Einheiten, die genormte Schnittstellen zur Datenverarbeitung besitzen. Sie sind ohne die Anbindung an weitere Systeme voll funktionsfähig. Integrierbare Module bilden den Typ 2. Dieser umfasst alle Einheiten mit festgeschriebenen Aufgaben, die in ein automatisiertes Gesamtsystem eingegliedert werden. Befehle und Daten bekommen solche über eine hierarchisch übergeordnete Steuerung. Typ 3 schließt die Unterteilung der Module ab. Dessen Einheiten werden auch als modulare Module beschrieben. Es ist möglich Module des Typ 1 und 2 weiter zu modularisieren, um bei Veränderung ihrer Aufgabe das Gesamtsystem nicht zu beeinflussen. Die verschiedenen Aufgaben müssen zur Erarbeitung von Hardware- und Softwarekonzepten mitberücksichtigt werden.

Daher ist es notwendig, Methodiken zur Zerlegung eines Systems zu entwickeln. Zwei gängige Möglichkeiten werden in [Sch18, S.77 ff.] unterschieden. Bei der Top-down-Methode erfolgt die Aufteilung von oben nach unten. Es werden immer kleinere Einheiten durch die Schaffung sogenannter Bilanzräume gebildet, bis das technische System schlussendlich nur noch aus Einheiten mit elementaren Aufgaben besteht. Das Gegenstück dazu ist die Bottom-up-Methode. Hier werden kleinste Teilkomponenten mit spezifischen Aufgaben zu immer komplexeren Systemen zusammengeführt. Endprodukt ist ein, in ihren Wechselwirkungen klar verdeutlichtes, Gesamtsystem. Die Kommunikation zwischen Anwender und Hersteller ist hier von größter Notwendigkeit. Diese Zusammenarbeit wird in Abb. 2.4-1 dargestellt.

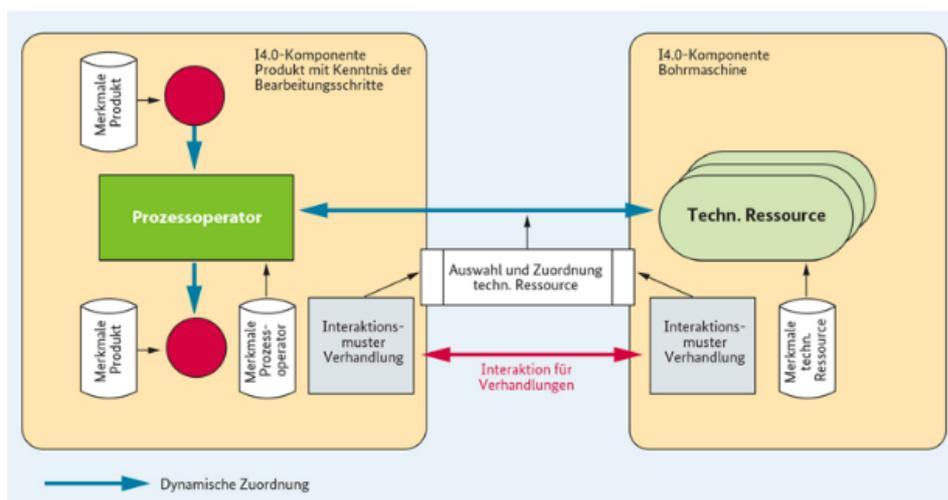


Abb. 2.4.1-1: Schema zur Beziehung Hersteller/Anwender [Sch18, S.75]

Die grundlegende Zielsetzung bei der Planungs- und Ausführungsphase zur Errichtung einer technischen Anlage ist die Reduzierung und damit die bessere Kontrolle bei

steigender Komplexität, sowie die Erhöhung der Flexibilität. Dabei können ER-Modelle ein hilfreiches Mittel sein [Sch18].

## 2.4.2 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0

In der Literatur trifft man im Bezug auf den Begriff Industrie 4.0 immer wieder auf das Referenzarchitekturmodell (RAMI 4.0). Wie in Abb. 2.4.2-1 zu sehen, ist es ein dreidimensionales Schichtenmodell, das zur vereinfachten Darstellung der Industrie 4.0 dient. Anhand dieser Darstellung kann die Technologie eingeordnet und weiterentwickelt werden. Es wurde als Norm der Standardisierung SPEC 91345 hinzugefügt [Han15].

### Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

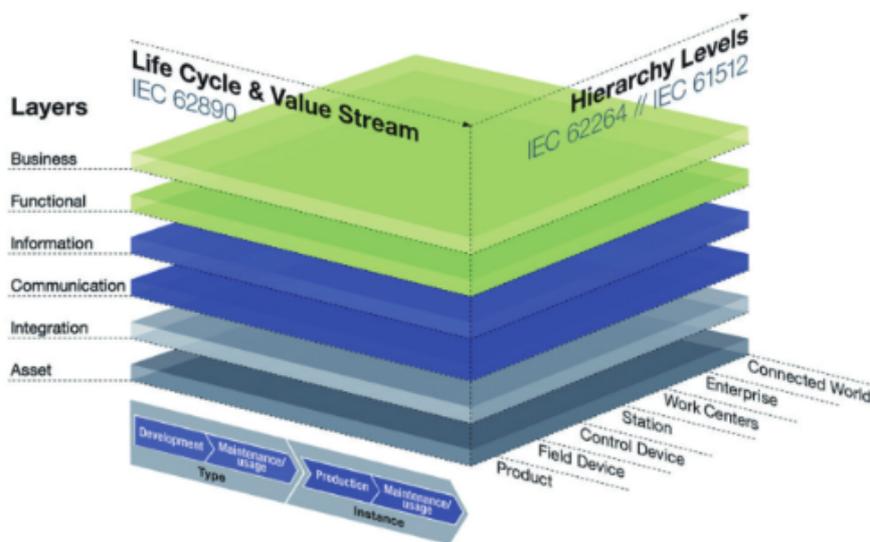


Abb. 2.4.2-1: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [Han15, S.1]

Grundlegend besteht es aus drei Achsen, zwei Horizontale und einer Vertikalen, die repräsentativ für die Struktur der Industrie 4.0 sind. Die rechte horizontale Achse „Hierarchy Levels“ beschäftigt sich im Wesen mit den Hierarchiestufen der IEC 62264, eine Normenreihe zur Integration von EDV und Leitsystemen im Unternehmen. Dabei ist das Produkt die niedrigste und das Internet („*Connected World*“) die höchste Hierarchiestufe [Han15].

Basis für die zweite horizontale Achse „Life Cycle & Value Stream“ bildet die IEC 62890. In diesem sind Richtlinien und Normen zum Lebenszyklus von Anlagen und Produkten festgeschrieben. Zusätzlich wird zwischen Typ und Instanz differenziert. Ein Typ wird zu einer Instanz nach Beendigung der Entwicklungsphase und der Prototypenentwicklung.

Die vertikale Achse „Layers“ spiegelt das digitale Abbild einer Maschine über ihre Schichten wider. Dadurch kann nun jede Maschine in die Welt der Industrie 4.0 eingeordnet werden. Es wird eine Einheitlichkeit für das Verständnis alter und neuer Technologien geschaffen [Sch18].

### **2.4.3 Sicherheitsaspekte der Maschine**

Parallel zum steigenden Standard der Automatisierungstechnik, wird auch die Realisierung sicherheitstechnischer Vorgaben immer aufwändiger. Oberste Aufgabe ist es, den Menschen, die Umwelt und die Maschine vor Schaden zu bewahren. Die Vorgaben, der in der EU geltenden Richtlinien, werden in der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG beschrieben. Um dieses Maß an Schutz zu gewährleisten, benötigt man vor der Inbetriebnahme wesentliche Risikoanalysen aller sicherheitsrelevanten Komponenten. Bei der modularen Bauweise ist äußerste Vorsicht geboten. Der große Vorteil der Variationsvielfalt vieler modularer Anlagenteile legt dem Entwurf geeigneter Sicherheitsmaßnahmen große Steine in den Weg. Sowohl die einzelnen Module als auch die Anlage an sich muss geprüft werden. Dabei sind die Module in allen vorkommenden Varianten zu testen. Es muss also sichergestellt werden, dass durch Umbau, Entnahme oder Zufügen von Komponenten die Gewährleistung der Sicherheit nicht rückwirkend beeinflusst wird [Sch18]. Eine Risikoanalyse bei der Veränderung eines Systems wird in Abb. 2.4-3-1 vereinfacht dargestellt.

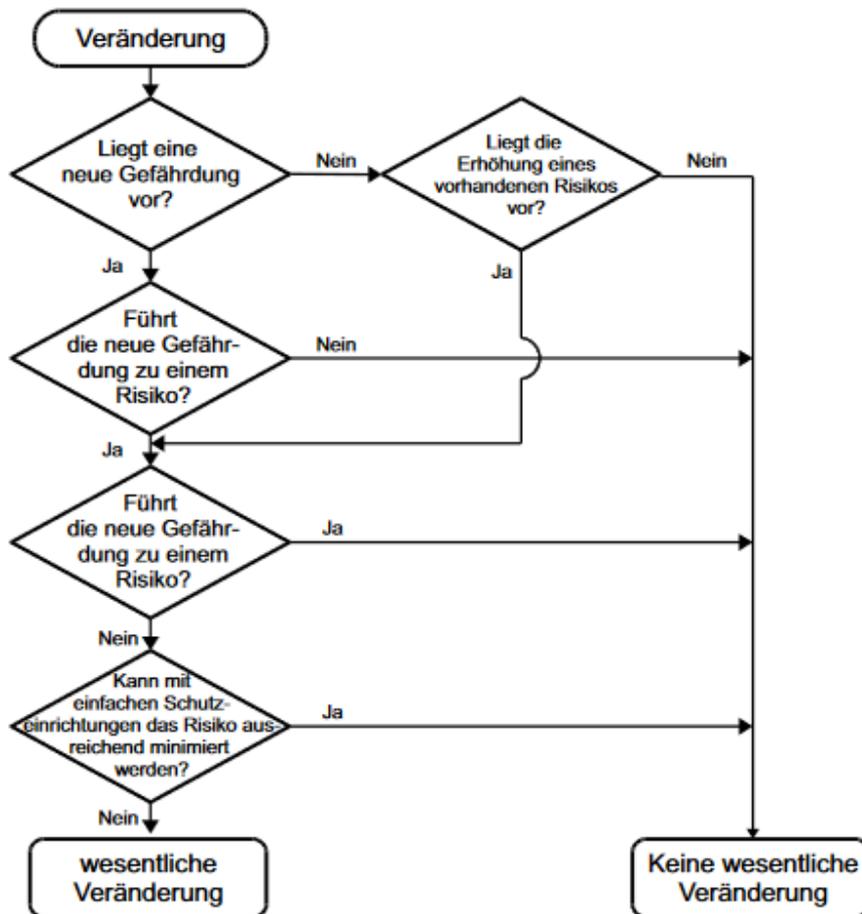


Abb. 2.4-3-1: Risikoanalyse bei der Veränderung eines Systems [Sch18, S.195]

Dazu bietet der heutige Stand der Technik eine breite Auswahl von verschiedenen Sicherheitssystemen für Anlagen im Hard- und Softwarebereich.

Intelligente Hardware wird zumeist durch Standardapplikationen, wie Lichtgitter oder auch Druckschalter, realisiert. Ein weiteres klassisches Beispiel ist der Not-Halt-Schalter. Durch das Betätigen eines solchen Schalters bei einer unmittelbaren Gefahr wird die Maschine oder ein Teil der Maschine gestoppt. Da der Bediener nicht von jeder Stelle den fehlerhaften Teil der Maschine stoppen kann, benötigt es zusätzlich automatische Sicherheitsfunktionen, um den Abschnitt im Ernstfall zum Stillstand zu bringen. Über einen übergeordneten Kommunikationskanal werden die Daten der Sicherheitstechnik gegenseitig ausgetauscht und ggf. an einer geeigneten Schnittstelle, z.B. HMI, für den Bediener sichtbar gemacht. Dieser wird durch einen Kommunikationsbus realisiert.

Unter den steigenden Sicherheitsanforderung leidet das Funktionalitätsvolumen, d.h. dem Hersteller sind in bestimmten Bereichen Grenzen in der Ausführung der Hardware und Software gesetzt, damit die bestehenden Sicherheitsvorgaben eingehalten werden können. Im Hardwarebereich wird dieser Aspekt vor allem durch Kosten für

Komponenten, Material, etc. ersichtlich. Als Beispiel dienen hier Sicherheitsrelais. Sie besitzen unter anderem verstärkte Einrichtungen zur Detektion von Kurz- und Masseschlüssen. Hier stellt sich nun die Frage der Sinnhaftigkeit vieler Funktionen. Hat bei dieser Maschine die Sicherheit oberste Priorität oder ist es aus wirtschaftlicher und technischer Sicht sinnvoller darauf zu verzichten?

Auf Softwareebene werden die Grenzen meist durch LVL-Sprachen, wie FUP oder C gesetzt. Diese besitzen einen gewissen Umfang an bereits geprüften Funktionen. Je nach Anlage ist es dem Programmierer auch möglich, auf anwenderspezifische Bibliotheken zuzugreifen. Diese Bausteine sollten in der Regel auch verwendet werden. So kann es der Fall sein, dass viele Programmieransätze im Konflikt mit Sicherheitsfunktionen stehen und somit unzulässig sind. Ziel ist es, mit den sicherheitstechnischen Vorgaben das höchste Maß an Funktionalität der Anlage zu realisieren [Sch18].

#### **2.4.4 IO-Link**

Systeme der Industrie 4.0 werden im Aufbau und der Handhabung immer komplexer. Das Funktionsvolumen einzelner Geräte wird immer umfangreicher. Dadurch erhöhen sich zwar die Möglichkeiten der Funktionsrealisierung, aber dies setzt ein erweitertes technisches Verständnis voraus. Trotz großer Veränderungen in vielen Bereichen der Automatisierung, bleiben grundlegende Elemente weiterhin erhalten. So bestehen Systeme im Grunde aus Sensoren und Aktoren. Jedoch haben hier die Datenverarbeitung und Datenspeicherung oberste Priorität. Aktoren bekommen nicht mehr nur Schaltsignale von der Steuerung, sondern geben immer mehr Daten, z.B. zur Positionserfassung, aus. Diese gilt es, im Programm zu deuten und ggf. darauf zu reagieren. In der konventionellen Automatisierungstechnik wird jeder Sensor und Aktor direkt mit der jeweiligen Steuerungseinheit verbunden. Diese ist meist in einem externen Schaltschrank verbaut, d.h. von jedem Sensor und Aktor wird ein Kabel zur externen Steuerungstechnik gelegt, um Daten, wie Schaltsignale, zu empfangen und zu senden [Uff20]. Die Verdrahtung wird, vor allem bei größeren Anlagen, durch große Anzahl an Sensorik und Aktorik schnell unübersichtlich. Infolgedessen werden benötigte Reparaturen im Fehlerfall zu einer zeitaufwendigen Angelegenheit.

Hierbei schafft die Schlüsseltechnologie IO Link Abhilfe. Sie beschreibt eine standardisierte Schnittstelle, die in der Industrie immer mehr an Wichtigkeit und Notwendigkeit gewinnt. IO-Link bezeichnet eine einfache Punkt-zu-Punkt-Verbindung und ist nicht mit einem Feldbus zu verwechseln. Der vereinfachte Aufbau wird in Abb. 2.4.4-1 dargestellt.

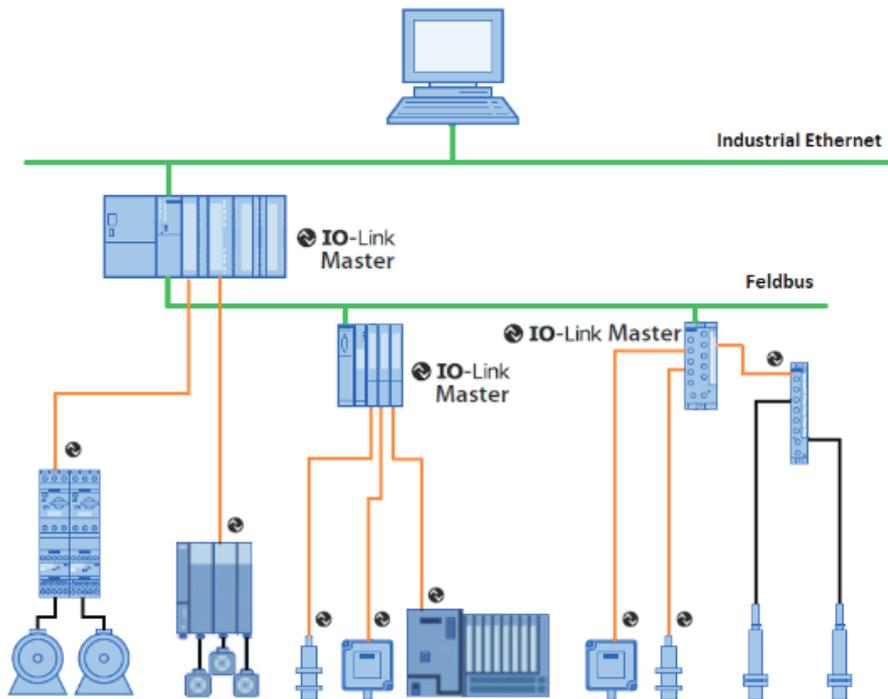


Abb. 2.4.4-1: Vereinfachter Aufbau eines IO-Link-Systems [Iol, S.5]

Sowohl herkömmliche als auch intelligente Sensorik und Aktorik können mit Hilfe eines IO-Link Masters, der im Feld integriert ist, mit der externen Steuerung oder weiteren Systemen anderer Unternehmensebenen über einen Feldbus kommunizieren. Um eine gute Datenqualität zu gewährleisten, sollten Entfernungen über 20 Meter zwischen IO-Link Master und Feldtechnik, auch IO-Devices genannt, vermieden werden. Diese werden über einen standardisierten Industriestecker mit dem IO-Link Master verbunden. Die Anschlüsse sind zudem frei konfigurierbar, was bedeutet dass Ein- und Ausgabegeräte können gleichermaßen angeschlossen werden. Außerdem können binäre und analoge Signale, wie in Abb. 2.4.4-2, bidirektional übertragen werden. Meist werden M5-, M8- oder M12-Steckverbinder oder konfektionierbare Leitungen verwendet. Dadurch ist es möglich, jedes System mit intelligenter Hardware zu erweitern, ohne dabei die gesamte Gerätetechnik auszutauschen. Zudem wird durch die einfache Verkabelung Zeit und Material gespart. Jedes Feldgerät wird an den lokalen IO-Link Master angeschlossen, welcher über ein Kabel (geschirmt) mit der Steuerung verknüpft wird. Für die Buskommunikation werden keine weiteren Ein- und Ausgangsgruppen für digitale und analoge Signale mehr benötigt [Uff20].

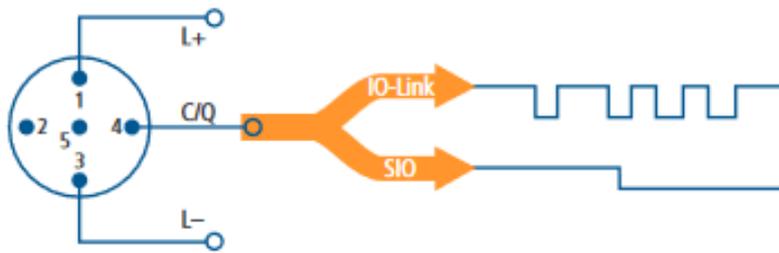


Abb. 2.4.4-2: Signalübertragung bei IO-Link-Systemen [IoI, S.6]

Pin 1,3 und 4 des 5-poligen Steckers haben fest definierte Funktionen. Pin 1 und 3 stellen die Versorgungsspannung von 24V bereit, während Pin 4 als Schalt- und Kommunikationsleitung genutzt wird. So wird eine Energieversorgung des Devices bis maximal 200mA realisiert. Lediglich Pin 2 und 5 werden je nach „Port Class Typ“ (Typ A oder Typ B) in ihrer Anwendung unterschieden. Typ A gibt keine festen Funktionen vor. Sie werden meist durch den Hersteller definiert. Üblich ist die Verwendung der Pins als zusätzliche digitale Ein-/Ausgangskanäle. Bei Typ B hingegen werden sie zur Bereitstellung einer weiteren Versorgungsspannung für Devices mit höherem Stromverbrauch verwendet [IoI].

Die Vernetzung des Systems bleibt trotz vieler Feldgeräte übersichtlich und es spart Zeit in Bereichen der Instandhaltung. Defekte Geräte können im laufenden Betrieb durch ihren standardisierten Steckverbinder ohne aufwendige Verdrahtung einfach ausgetauscht werden. Die Daten des Feldgerätes werden dabei auf dem IO-Link Master gespeichert, wodurch eine neue Parametrierung entfällt. Zusätzlich können Parameteranpassungen ebenfalls im laufenden Betrieb durchgeführt werden.

IO Link schafft in meist unübersichtlichen, fast schon chaotischen, Systemen der Industrie 4.0 Ordnung. Durch innovative Technik wird ein visuelles Abbild einer Maschine geschaffen und jeder Unternehmensbereich kann auf die für ihn wichtigen Daten zugreifen. So bildet IO-Link ein Musterbeispiel in Bereichen der Systemoptimierung und Datenverarbeitung.

## 2.4.5 Mensch-Maschine-Interaktion

Wie in vorherigen Teilen der Arbeit besprochen, wird eine einfache und logische Visualisierung einer Maschine durch erhöhte Komplexität immer essenzieller und anspruchsvoller. Die Funktionen der Geräte werden immer umfangreicher und der Mensch neigt durch die steigende Informationsflut zur Reizüberlastung. Nun gilt es, den Menschen durch automatisierte Prozesse zu unterstützen und ihn dadurch sowohl physisch als auch psychisch zu entlasten. Besonders technische Sensoren stehen dabei im Vordergrund, die über Aktoren in den technischen Prozess selbständig eingreifen können. Sie nehmen Informationen aus dem technischen System auf, verarbeiten diese über ihre speziell programmierten Algorithmen und geben die resultierende Information an die Aktoren weiter.

Der Mensch besitzt hierbei keine klassischen Prozesssteuerungsaufgaben. Jedoch kann es notwendig sein, den Prozess parallel zum Ablauf an einer vorgesehenen Schnittstelle zu überwachen und im Notfall einzugreifen.

Die verschiedenen Automatisierungsgrade werden in drei große Bereiche unterteilt. Je höher der Automatisierungsgrad einer Maschine ist, desto weniger greift der Mensch in den technischen Prozess ein. Bei einem niedrigen Automatisierungsgrad übernimmt der Mensch die wichtigsten Aufgaben der Maschine, indem er als Steuerung des Systems fungiert. Er erhält direkt ein Feedback zu seiner Handlung, jedoch führt diese zentrale Position des Menschen im System leicht zur Überlastung. Der Mensch ist nur begrenzt multitaskingfähig. Mehrere Aufgaben gleichzeitig mit einer hohen Güte zu bewältigen ist unmöglich. Je mehr Aufgaben er parallel bearbeiten muss, desto geringer ist die Qualität einer jeden Aufgabe [Sch17].

Bei einer sogenannten Teilautomatisierung übernimmt die Maschine genauso viele wichtige Aspekte zur Steuerung und Regelung, wie der Mensch. Es ist dabei eine geeignete Verteilung zu finden. Aufgaben, die dazu neigen den Menschen schnell zu überfordern, werden von unterstützenden Systemen übernommen. Der Begriff „MABA“ (Man are better at – Machines are better at) beschreibt genau diesen Grad der Automatisierung [Sch17].

Schlussendlich arbeitet die Maschine als quasiautonomes System. Dies führt zwar zur Entlastung des Menschen und er hat Zeit sich anderen Aufgaben seines Bereiches zu widmen, kann aber zu Unterforderung durch mangelnde Informationsmenge und ggf. zu Problemen führen, falls er im Ernstfall in das System eingreifen muss. Je nach Komplexität der Anlage ist es wichtig einen gewissen Grad an Automatisierung vorzunehmen, jedoch sollte es dem Menschen in Extremfällen immer noch möglich sein in das System einzugreifen [Sch17].

Die endgültige Oberfläche sollte einen Abstraktionsgrad im Bezug auf Anordnung und Skalierung der einzelnen Elemente aufweisen. Es sollte sich die Frage gestellt werden, wie dem Bediener die Informationen am effektivsten vermittelt werden können. Füllstände sollten somit als Balkenskala ausgeführt werden oder Motordrehzahlen mit einem Drehzahlmesser. Eine grafische Gestaltung bietet dem Bediener eine wesentlich bessere Möglichkeit, technische Daten zu verarbeiten.

In Anlehnung an die grafische Gestaltung spielen die farbliche Gestaltung und die Form ebenfalls eine große Rolle.

Die grundsätzlichen Farben und ihre Bedeutung sind in Abb. 2.4.5-1 aufgelistet.

1 Farbe	Bedeutung		
	Sicherheit von Personen	Zustand der Maschine / des Prozesses	Schaltstellung des Betriebsmittels
Rot	Gefahr, Verbot	Notfall	keine allgemeine Bedeutung
Gelb	Vorsicht	Anormal	
Grün	Sicherheit	Normal	
Blau	Gebot		
Weiß, Grau, Schwarz	keine bestimmte Bedeutung zugeordnet		

2 Farb-Form-Kodierung			
Verbot	Warnung	Rettung	Gebot
			

Abb. 2.4.5-1: Farbcodierung der Sicherheitsfarben [Sch17, S. 206]

Die Sicherheitsfarben sind in der DIN/EN61310-1 festgehalten [Sch17]. Weiterhin ist es möglich, durch eine Dynamisierung von Bildelementen bestimmte Vorgänge hervorzuheben, z.B. das Signalisieren einer anstehenden Wartung eines Gerätes durch ein Blinken.

## 2.4.6 Bussysteme zur industriellen Kommunikation

### 2.4.6.1 ISO/OSI-Referenzmodell

Dieses Modell dient zur vereinfachten Darstellung der Kommunikation verschiedener Hardwarekomponenten. Es unterteilt die Kommunikation zwischen den Geräten in sieben Ebenen, welche auch als Schichten („Layer“) bezeichnet werden. Jede Schicht besitzt seine eigene Funktionalität [Kaw18]. Dabei bilden Layer 1-4 Schichten der Datenübertragung und Layer 5-7 Anwendungsschichten. Die einzelnen Aufgaben der Schichten sind in Tabelle 1 verdeutlicht. Das Modell legt die Grundlage für ein offenes System, indem durch seine definierten Schichten und Schnittstellen auch Komponenten verschiedener Hersteller miteinander verknüpft werden können [Kaw18].

Tabelle 1: Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells [Kaw18]

Nummer	Bezeichnung	Erläuterung
7	Anwendungsschicht (Application Layer)	stellt die auf dem Netzwerk basierenden Dienste für die Programme des Endanwenders bereit (Datenübertragung, elektronische Post usw.)
6	Darstellungsschicht (Presentation Layer)	legt die Anwenderdaten-Strukturen fest und konvertiert die Daten, bevor sie zur Sitzungs- bzw. Anwendungsschicht gegeben werden (Formatierung, Verschlüsselung, Zeichensatz)
5	Sitzungsschicht (Session Layer)	definiert eine Schnittstelle für den Auf- und Abbau von Sitzungen, d.h. zur Benutzung der logischen Kanäle des Transportsystems
4	Transportschicht (Transport Layer)	stellt fehlerfreie logische Kanäle für den Datentransport zwischen den Teilnehmern bereit
3	Netzwerkschicht (Network Layer)	transportiert die Daten von der Quelle zum Ziel und legt die Wege der Daten im Netz fest
2	Datenverbindungsschicht (Data Link Layer)	legt die Datenformate für die Übertragung fest und definiert die Zugriffsart zum Netzwerk und wird in die „Zugriffssteuerung für das Medium“ (MAC) und die „Logische Ankopplungs-Steuerung“ (LLC) unterteilt
1	Physikalische Schicht (Physical Layer)	definiert die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Leitung, Pegel

### 2.4.6.2 Feldbus

Der Begriff Feldbus beschreibt Kommunikationsnetzwerke bzw. Bussysteme für die industrielle Automatisierungstechnik. Unter einem Bus versteht man ein System zur Datenübertragung, bei dem Informationen zwischen Teilnehmern ausgetauscht werden können. Hierbei ist von intelligenten Feldgeräten die Rede [Hel]. Sensoren/Aktoren werden mit der Steuerung, z.B. SPS, verbunden. Alle Geräte greifen über ein fest definiertes Protokoll auf die gemeinsame Datenleitung zu. Im Protokoll wird festgelegt, wann jedes Gerät die Berechtigung zum Senden von Daten erhält [Kaw18]. Feldbusse werden grundsätzlich in parallele und serielle Busse unterteilt (VDE/VDI 3687). Beim parallelen Bus können Daten zeitgleich über eine Vielzahl von Leitungen übertragen werden. Das serielle Bussystem verwendet hingegen nur ein Medium zur Datenübertragung. Daten werden nach bestimmten Protokollen nacheinander transferiert. Dadurch wird der Verkabelungsaufwand von Geräten deutlich minimiert, womit Betriebskosten und Kosten für die Planung, Inbetriebnahme und Montage signifikant gesenkt werden [Hel].

### 2.4.6.3 Topologien

Topologien beschreiben die Verbindung der Geräte im Netzwerk untereinander. Hier werden folgende Grundstrukturen unterschieden Abb. 2.4.6.3-1:

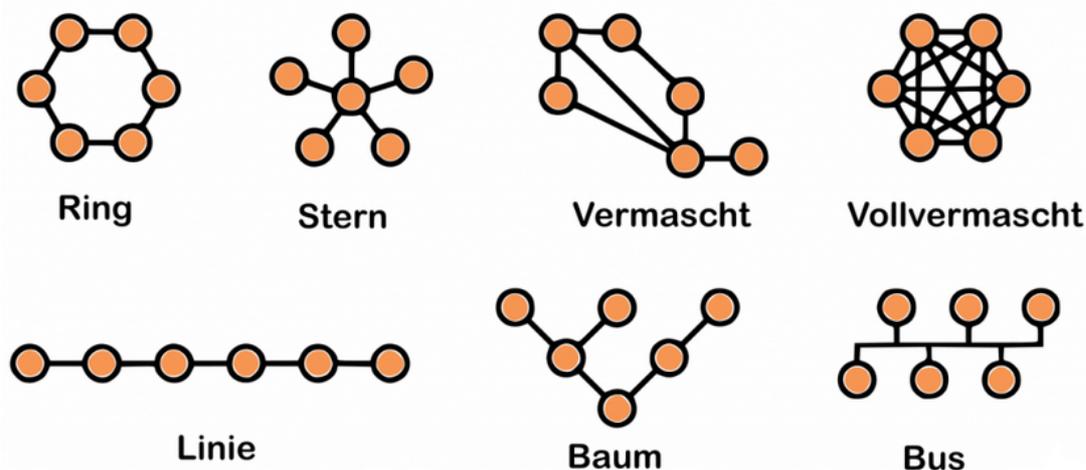


Abb. 2.4.6.3-1: Grundstrukturen von Bussystemen [Idt]

- Linien-/Busstruktur:

Alle Teilnehmer besitzen einen gemeinsamen Übertragungsweg. Es kann zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur ein Teilnehmer eine Nachricht senden. Dieser wird vom Protokoll festgelegt.

- Ringstruktur:

Die Teilnehmer sind über einen geschlossenen Kabelweg miteinander verbunden. Jeder Teilnehmer besitzt gleichzeitig die Aufgabe eines Repeaters [Kun1]. Der Datenfluss findet stets nur in eine Richtung statt.

- Sternstruktur:

Die Teilnehmer sind mit einem Knotenpunkt, jedoch nicht untereinander, verbunden.

- Baumstruktur:

Sie bildet eine Erweiterung der Stern-Topologie. Von einem Knoten gehen mindestens ein neuer Kanten, meist mehrere Kanten ab [Kun1].

- Vermaschte Struktur:

Teilnehmer besitzen Verbindungen zu mehreren anderen Teilnehmern, wodurch eine Redundanz in der Kommunikation entsteht [Kam12].

#### **2.4.6.4 PROFIBUS**

Als PROFIBUS (Process Field Bus) wird ein universeller Feldbus bezeichnet, welcher bei der Entwicklung offener und herstellernerneutraler Feldbusstandards maßgeblich beigetragen hat [Kaw18]. Er ist durch die IEC 61158/IEC 61784 standardisiert.

In Bezug auf das ISO/OSI-Referenzmodell werden nur Schicht 1, 2 und 7 verwendet. Schicht 1 definiert die Übertragungstechnik bzw. die Schnittstelle des Gerätes. In Schicht 2 wird das Übertragungsprotokoll definiert. Der Buszugriff erfolgt über ein Master/Slave-Verfahren. Der Master (aktiv) darf dabei ohne Aufforderung senden, während der Slave als passiver Teilnehmer Nachrichten empfängt und nur nach Aufforderung des Masters senden darf. Hier findet das Token-Passing-Verfahren seine Anwendung. Jeder aktive Busteilnehmer ist berechtigt, den Token zu erhalten. Dieser bildet die Buszugriffsberechtigung und der Master darf Nachrichten senden. Die Reihenfolge wird gemäß der PROFIBUS-Adresse der Master festgelegt. Der Master mit der niedrigsten Adresse darf zuerst Nachrichten senden. Hat dieser seine Aufgabe erledigt, gibt er den Token an den Master mit der nächsthöheren Adresse weiter. Ist der Master mit der höchsten Adresse erreicht, gibt dieser den Token an den Master mit der

niedrigsten Adresse weiter, um den Token-Ring zu schließen (Abb. 2.4.6.4-1). Schicht 7 schließt hier direkt an die Sicherungsschicht an [Kaw18].

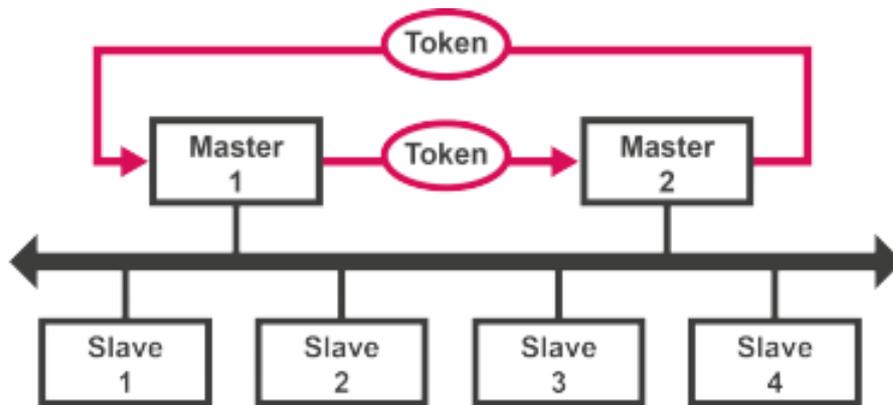


Abb. 2.4.6.4-1: Token-Passing-Verfahren [Kaw18, S. 24]

Mit dem PROFIBUS sind Bitraten von 9,6 kbit/s bis 12 Mbit/s möglich. Die Kabellänge darf dabei, je nach Bitrate, einen Wert von 1200 Metern nicht überschreiten [Kun3].

Der PROFIBUS wird in drei Kommunikationsprotokolle unterteilt:

- PROFIBUS FMS (Field Bus Message Specification):

Er wurde ursprünglich für große Kommunikationsaufgaben entwickelt, findet jedoch heutzutage kaum noch Anwendung. Er dient ausschließlich zur Kommunikation von Mastern untereinander.

- PROFIBUS DP (Process Field Bus Decentralized Periphery):

Er verwendet die gleiche Übertragungstechnik, wie der PROFIBUS FMS, wird jedoch zur zielgerichteten Kommunikation zwischen Master und I/O-Slaves genutzt. Heutzutage kommt er zur Bedienung von Stellgliedern und Sensoren mit Hilfe von Steuergeräten zum Einsatz.

- PROFIBUS PA (Process Field Bus Process Automation):

Er wird dafür verwendet, um Messgeräte von Prozesskontrollsystem zu überwachen. Vor allem in explosionsgefährdeten Umgebungen findet dieser seine Anwendung. Unterschied zum PROFIBUS-DP ist die zusätzliche Energieversorgung der Feldgeräte über das Buskabel und eine feste Übertragungsrate von 31,25 kbit/s. Da er das gleiche Kommunikationsprotokoll wie DP verwendet, ist eine Verbindung zum DP-Netzwerk möglich.

#### **2.4.6.5 PROFINET**

PROFINET (Process Field Network) ist ein offener Industrial-Ethernet Standard. Er nutzt TCP/IP bzw. IT-Standards und findet meist in der Fertigungs- und Prozessautomatisierung seine Anwendung [Kaw18]. Im Wesen ähnelt er dem PROFIBUS, doch durch andere Übertragungsprotokolle sind Bitraten von bis zu 1Gbit/s möglich und in Zukunft bietet PROFINET durch die Verwendung von Ethernet-Technologie eine wesentlich höhere Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten und unbegrenzten Adressraum [Dev].

### **2.5 Zukünftige Entwicklung**

In den vorherigen Kapiteln wurde der Stand der Technologie im Zeitalter der Digitalisierung deutlich. Neue Innovationen haben die Grundlage für neue Möglichkeiten zur Systemoptimierung gelegt. Die Technik wird immer intelligenter und übernimmt nach und nach mehr Aufgaben des Menschen, welcher in vielen Bereichen lediglich überwachende Funktionen besitzt und Daten der Maschine auswertet. Informationstechnik gewinnt immer mehr an Wichtigkeit und auch an Notwendigkeit, intelligente Systeme zu entwerfen und den gegebenen Standards zu entsprechen. Doch je komplexer die Technik wird, desto größer ist das Bestreben zur einfachen Handhabung einer Maschine [Rie20]. Dazu gilt es, in der Zukunft weitere bedienerunterstützende Systeme zu schaffen. So wird die Automatisierung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten immer weiter zunehmen. Roboter werden vermehrt durch Roboter gebaut, Wartungen werden automatisiert und Prozessabläufe autark angepasst und verbessert. Doch zum jetzigen Wissensstand benötigt es immer noch einen Menschen zur vollen Funktionstüchtigkeit einer Maschine, auch wenn es nur prozessbegleitende Aufgaben sind. Die Visualisierung sollte dabei so einfach wie möglich gehalten werden und man sollte auf dem Menschen vertraute Oberflächen zurückgreifen. Klassische HMI-Systeme wirken veraltet und eine modernere und mobilere Variante wird immer attraktiver für die Industrie. So kann das Mobiltelefon vielleicht in ein paar Jahren als portables HMI genutzt werden. Drahtlos wird sich mit der Maschine verbunden und Prozesswerte werden in einer für das Telefon geeigneten Oberfläche dargestellt. Ein mobiles Gerät ersetzt dabei viele anlagengebundene Geräte [Xu16]. Zudem ist eine Steuerung der Maschine per Mimik und Gestik in naher Zukunft ebenfalls denkbar. Über verschiedene Bewegungen oder Sprachbefehle werden der Maschine festgelegte Abläufe vermittelt, z.B. eine Produktumstellung. Des Weiteren können über diesen Weg der Kommunikation auch Daten der Maschine per Hand- oder Sprachbefehl an den Bediener übermittelt werden [Vog].

### 3 Beispielanlage der Hochschule Merseburg

#### 3.1 Genereller Aufbau

Die Anlage der Hochschule Merseburg ist prinzipiell aus drei modularen Stationen zusammengesetzt, die über ein geschlossenes Förderbandsystem miteinander verbunden sind. Jede Station besitzt dabei eine eigene Steuerung (S7-1500) mit E/A-Baugruppen zur Erfassung stationsgebundener Prozessdaten über die Sensorik, welche durch HMIs (TP700 Comfort) an jeder Station visualisiert werden. Des Weiteren wurde die Anlage um ein zentrales HMI (TP2200 Comfort) erweitert.



Abb. 3.1-1: SIMATIC HMI TP700 Comfort [BDS]



Abb. 3.1-2: SIMATIC HMI TP2200 Comfort [BDS]



Abb. 3.1-1: CPU1512SP-1 PN [BDS]

Es kommen hauptsächlich kapazitive Sensoren zur Positionserfassung des Trays bzw. Endlagenerfassung von Greifern und Zylindern zum Einsatz. Station 2 besitzt drei Ultraschallsensoren zur Überprüfung der Füllstände. Zusätzlich besitzt die Anlage ein RFID-System. Jeder Tray hat einen RFID-Chip, auf den Daten zum Befüllmedium der

einzelnen Gläser geschrieben und ausgelesen werden können. Rezepturen und Daten zur Befüllung erhält das System über ein MES. Es dient zur Überwachung und Planung der Produktion.

Als Programmsoftware wurde zunächst TIA V13, nach der Aktualisierung des Systems TIA V16, genutzt. Die Visualisierung wird durch die im TIA-Portal integrierte Software WinCC realisiert.

## **3.2 Funktionsweise/Anwendung**

Die Anlage spiegelt eine vereinfachte Version einer Befüllungsmaschine wider. Durch den modularen Aufbau lassen sich die einzelnen Teilaufgaben gut voneinander abgrenzen. Beginnend bei Station 2 wird der sogenannte Tray mit den Flaschen von einer externen Einheit, in diesem Fall vom Bediener, auf das Einlaufband gelegt und zum Greifer der Anlage transportiert. Dieser stellt den Tray auf den Lesekopf. Jedes Glas des Trays besitzt einen RFID-Chip. So kann über eine übergeordnete MES-Software für jedes Glas eine eigene Rezeptur geladen werden. Nach dem Schreiben der Rezeptur wird der Tray auf das umlaufende Transportband gestellt, welches die Gläser zur nächsten Station 3 transportiert.

Dort werden die gespeicherten Daten der Gläser ausgelesen. Falls eine Rezeptur Kaffeebohnen oder Mais beinhaltet, wird das gewünschte Glas durch einen weiteren Greifer auf einen kleineren Transportkreis gestellt und mit der gespeicherten Mischung aus Kaffeebohnen und Mais befüllt. Danach erfolgt die Rückgabe auf das Förderband. Nun wird der Tray zur Station 1 befördert, an der eine Befüllung mit Hilfe eines Tripods stattfindet. Dieser besteht aus drei Stellantrieben, was ihm ermöglicht jeden Punkt im Arbeitsbereich anzufahren. Weiterhin ist er mit einem pneumatischen Sauger versehen, welcher Plättchen unterschiedlicher Farben (rot, schwarz, grau) von drei Zuführbändern aufnimmt und die Gläser, falls erforderlich, damit befüllt. Zusätzlich zur herkömmlichen Aufgabe, besitzt die Tripodzelle eine Kamera über einem vierten Zuführband. Die Kamera erkennt die genaue Position einlaufender weißer Plättchen und gibt diese an den Tripod weiter, welcher die Plättchen aufnimmt.

Zum Schluss wird in Station 2 die Befüllung der Gläser mit der geladenen Rezeptur verglichen. Ist diese korrekt, übergibt der Greifer den Tray dem Auslaufband und letztendlich der externen Einheit.

## **4 Visualisierung der Anlage durch WinCC**

### **4.1 Grundlegende Informationen zu WinCC**

In der Automatisierungs- und Prozesstechnik ist die Datensammlung und die Projektierung von Prozessgrößen ein fundamentaler Bestandteil. Zur Erstellung geeigneter Oberflächen auf verschiedenen Panels oder PCs kommt WinCC zum Einsatz. WinCC steht für Windows Control Center und bildet mit der Software TIA-Portal von Siemens eine Basis zur Verwaltung automatisierter Anlagen im Bereich Industrie 4.0 [Fes]. Die Visualisierung ist hierbei im Projekt integriert. Mit Hilfe von WinCC wird die Programmierung des HMIs TP2200 Comfort realisiert. Das Arbeiten mit WinCC erfolgt über die Projektansicht im TIA-Portal. Zur Erstellung einer Nutzeroberfläche dient die Version WinCC Comfort.

### **4.2 Funktionen der Visualisierung**

#### **4.2.1 Kommunikation**

Anlage und externe Geräte tauschen Daten zur Prozessverwaltung über eine direkte Verbindung aus. Als Schnittstelle dient dabei die Verknüpfung über den Ethernet-Anschluss. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit der Kommunikation über ein Netzwerk, welches bei der Kommunikation zwischen Anlage und HMI jedoch keine Anwendung findet. Der Rechner für die Programmierung ist ebenfalls über ein Ethernetkabel mit Bediengerät und Maschine verbunden. Geräte im Feld kommunizieren über PROFINET miteinander.

Die Anlage besitzt, wie in den vorherigen Kapiteln besprochen, drei Steuerungen mit jeweils einem HMI als Bedienerschnittstelle. Jedes Gerät hat eine ihm im Netzwerk zugewiesene IP-Adresse. Diese kann vom Bediener nachträglich angepasst werden. Über WinCC wird zu jedem Gerät eine Verbindung aufgebaut, welche im Projekt unter „Geräte und Netze“ dargestellt wird. Bei erfolgreicher Verbindungsherstellung können Daten bidirektional gesendet und empfangen werden. Die Kommunikation wird vom HTTP-Protokoll unterstützt [TIA].

## 4.2.2 HMI Variablen

Variablen spiegeln im Programm Prozesswerte wieder. Diese beinhalten Daten, die im jeweiligen Automatisierungssystem gespeichert werden. Diese Daten dienen zur Prozesssteuerung über WinCC. Dabei kommuniziert die Maschine ausschließlich über externe Variablen mit der Steuerung. Als externe Variablen werden Größen beschrieben, die tatsächlich in der Maschine existieren, z.B. Sensoreingangswerte, Zylinderendlagen, Motoransteuerungen. Ihre Werte können aus dem Speicher gelesen oder in den Speicher geschrieben werden. Sie sind im Projekt in den Variablen tabellen aufgeführt und besitzen dort eine eindeutige Adressierung in der Steuerung. Über diese Verbindung erfolgt der Datenaustausch zwischen Steuerung und Automatisierungssystem. Bei der Adressierung wird in zwei Verbindungsarten unterschieden. Geräte können über den Editor „Geräte und Netze“ in das Projekt eingebunden werden, was als integrierte Verbindung bezeichnet wird. Hier kann eine Verbindung über einen symbolischen oder einen absoluten Zugriff erfolgen. Bei einem symbolischen Zugriff wird eine PLC-Variable der Steuerung mit einer HMI-Variable des Bediengerätes verbunden. Der Datentyp wird von der HMI-Variablen selbst festgelegt. Bei Änderung der Adresse eines Elements im Datenbaustein wird diese automatisch von der HMI-Variablen übernommen. Prozesswerte können so in Echtzeit visualisiert werden. Diese Art der Adressierung ist jedoch nur bei einer integrierten Verbindung möglich. Hierbei kommen SPS und HMI zusammen in einem Projekt als Geräte vor. Findet eine Kommunikation über eine nicht integrierte Verbindung statt, ist es nicht möglich, Prozesswerte aus Datenbausteinen in Echtzeit darzustellen. Es können nur Daten von Variablen mit echten Adressen verarbeitet werden. Von einer nicht integrierten Verbindung spricht man, wenn eine Kommunikation über den Editor „Verbindungen“ stattfindet. Verbindungen zwischen HMI- und PLC-Variablen werden über die Variablen tabelle erstellt. Es besteht nur die Möglichkeit eines absoluten Zugriffs. Ändert sich die Adresse einer PLC-Variable, ist eine Neuübersetzung des Projektes notwendig, um die neue Adresse zu aktualisieren. Der Vorteil besteht in der getrennten Projektierung von Steuerungsprogramm und Projekt.

Im Gegensatz zu externen Variablen finden interne Variablen nur im WinCC Runtime ihre Verwendung. Sie bilden keinen realen Prozesswert der Maschine ab. Interne Variablen werden für interne Programmabschnitte genutzt, z.B. Merkerbausteine, Zählvorgänge. Zur besseren Übersicht bietet sich eine Unterteilung der Variablen in mehrere Variablen tabellen an [TIA].

### 4.2.3 HMI Meldungen

Als Meldungen werden kurzzeitig eintretende Zustände bezeichnet, die eine besondere Handhabung durch Automatisierungstechnik und Bediener erfordern.

Sie können über das Meldesystem im WinCC erstellt und auf dem Bediengerät angezeigt werden. Gängige Meldungen sind Betriebszustände oder auch Störungen, die es in der Art der Visualisierung zu unterscheiden gilt. Dazu sind verschiedene Meldeklassen fest definiert. Man unterscheidet sie in benutzerdefinierte Meldungen zur Überwachung der Anlage und systemdefinierte Meldungen. Letztere sind vom System integriert und überwachen interne Vorgänge von Steuerung und Bediengerät.

Sie werden in verschiedene Gruppen unterteilt.

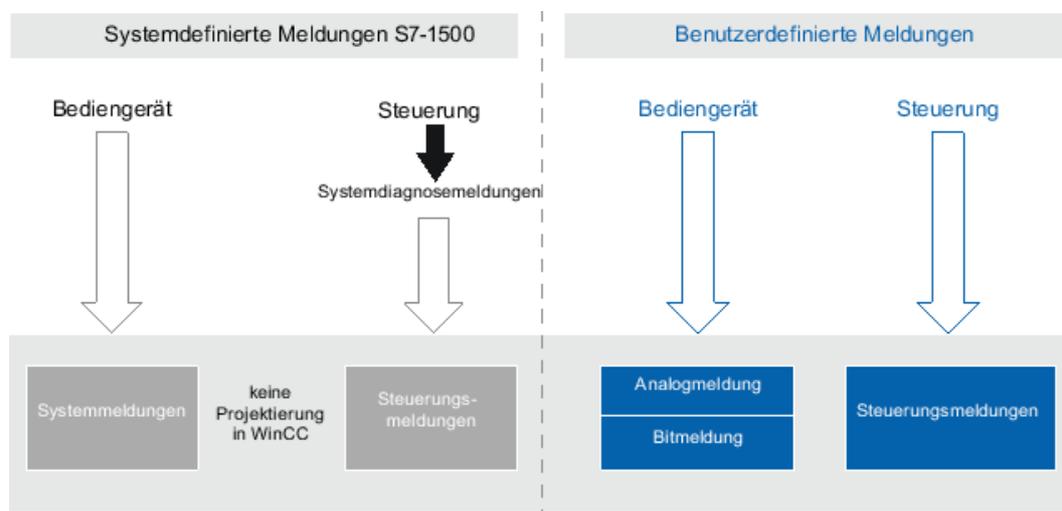


Abb. 4.2.3-1: Gruppen der HMI-Meldungen [TIA]

Im WinCC werden die erstellten Meldungen mit den Prozessvariablen verknüpft und konfiguriert. Bestimmte Zustände können so durch farbliche Visualisierung bzw. durch eine Dynamisierung der Anzeige hervorgehoben werden.

Des Weiteren unterscheiden sich benutzerdefinierte Meldungen in drei Gruppen nach Art der Eingangsgröße. Analogmeldungen stellen Grenzüber- und -unterschreitungen dar, z.B. bei der Überwachung von Motordrehzahlen. Die zweite Gruppe bildet die Klasse der Bitmeldungen. Sie dienen zur Anzeige von bool'schen Zuständen, z.B. Endlagenstellungen von Zylindern und Ventilen.

Voraussetzung für die Verwendung analoger Meldungen und Bitmeldungen ist die Erstellung einer Meldeklasse und Meldegruppe. Anschließend muss ein Meldetext und eine Triggervariable mit geeignetem Datentyp für jede Meldung festgelegt werden.

Im Gegensatz zu den Analog- und Bitmeldungen bildet die Gruppe der Steuerungsmeldungen interne Zustandswerte der Steuerung ("CPU") ab. Steuerung und WinCC übernehmen automatisch diese Werte. Sie können in Echtzeit visualisiert werden. Auch hier ist die Anlegung einer Meldeklasse notwendig.

Bei der Interaktion einer Steuerung mit mehreren Bediengeräten können durch die Erstellung sogenannter Anzeigeklassen Steuerungsmeldungen zugeordnet werden. Es sind bis zu 17 Anzeigeklassen möglich [TIA]. Diese können vom Benutzer im Editor nach gewünschter Priorität sortiert werden.

#### **4.2.4 Grafiken**

Zur besseren Veranschaulichung von Prozessen bzw. anlagenspezifischer Abläufe wird die Einbindung verschiedener Grafiken genutzt. Sie tragen zur Gestaltung der Bilder am Bediengerät bei. WinCC bietet dabei über das Werkzeugfenster im Projekt eine große Auswahl an grafischen Objekten in der Standardbibliothek. Diese reichen von einfachen Standardobjekten, wie grundlegende Formen (Kreis, Quadrat, etc.), über Bedienelemente und Controls bis hin zu komplexen Grafiken, z.B. industrielle Pumpen und Maschinen. Die Anwendung ist abhängig von der Komplexität der dargestellten Prozessgrößen. Objekte werden per „Drag&Drop“ in das gewünschte Bild eingefügt und parametrisiert. Zusätzlich können Bildbausteine aus mehreren Objekten erstellt und wiederverwendet werden. Dadurch beschleunigt sich die Gestaltung unterschiedlicher Bilder mit annähernd gleichen Prozessgrößen, z.B. Motordrehzahlen oder Füllstände. WinCC bietet ebenfalls die Möglichkeit externe Grafikdateien verschiedener Formate mit einzubinden. Sie werden in der Grafiksammlung des Projektes hinterlegt. Über den Grafikordner im Werkzeugfenster können alle Objekte verwaltet werden [TIA].

#### **4.2.5 VB Skript**

Seit der Version WinCC TIA-Portal V15.1 besitzt die Software die Funktion, mit Hilfe von selbstgeschriebenen Skripten Prozesse der Maschine zu steuern. Basis für die VBS-Programmierung bildet die Programmierung mittels strukturiertem Text. Hier werden dem Programmierer nur durch Festlegung der VBS-Programmierkonventionen Grenzen gesetzt. Diese beinhalten unter anderem Konventionen zur Deklaration von Objekten, Variablen und Prozeduren oder auch von Kommentaren.

Grundbausteine bei der Programmierung bilden hier, wie bei anderen Programmiersprachen, Schleifenbefehle, z.B. if, while, for. Durch einen sogenannten Triggerbefehl wird das Skript aufgerufen. Triggerbefehle können Timer (zyklisch oder azyklisch), Variablen (Wertänderungen) oder Ereignisse (Änderungen von Objekten

oder Objekteigenschaften) sein [WinCC Programming]. Es wird dabei jedoch nur einmal abgearbeitet, d.h. es gilt eine geeignete Triggervariable zu wählen. Für sich periodisch wiederholende Prozesse eignet sich hier die Verwendung des internen Taktmerkers der SPS. So wird ein zyklisches Aufrufen des Skriptes erreicht. Zusätzlich können auch externe Variablen eines HMI als Trigger verwendet werden. Prozessergebnisse werden mit Hilfe der WinCC Runtime visualisiert [Ele].

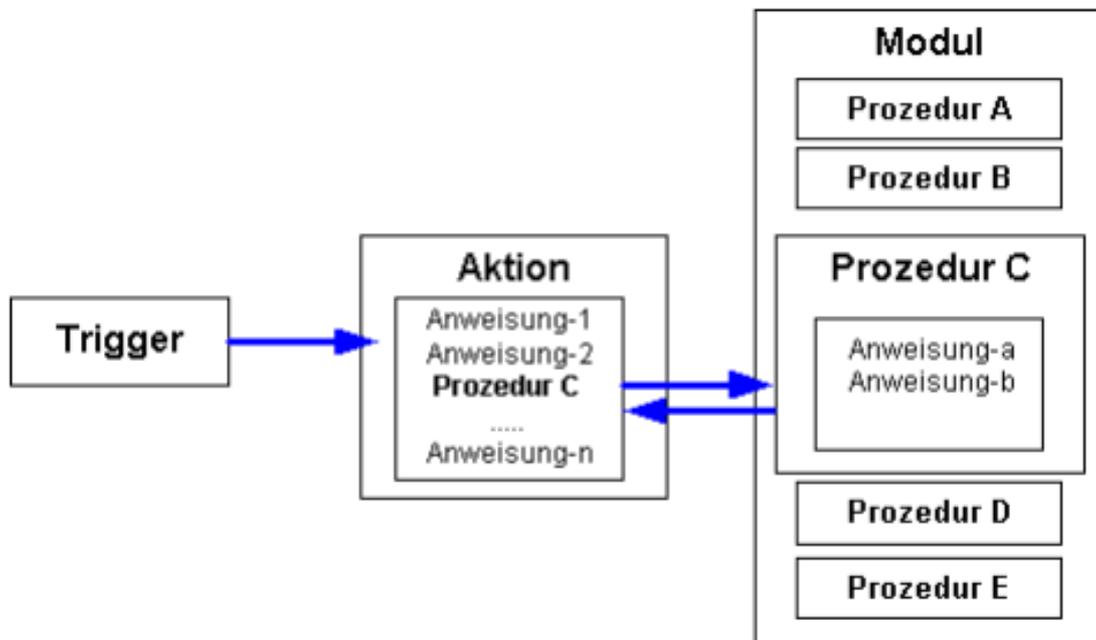


Abb. 4.2.5-1: VBS-Zugriffsverfahren [TIA]

## 4.2.6 Bilder

Bilder werden mit Hilfe von WinCC erstellt. Sie dienen sowohl zur Visualisierung von Prozessdaten der Anlage als auch als Bedienelement zur Steuerung von Sensoren und Aktoren, z.B. zur Vorgabe von Prozesswerten. Bilder lassen dem Ersteller viele Möglichkeiten zur anforderungsspezifischen Darstellung. Durch eine Reihe von vorgegebenen Bausteinen und Bildelementen können statische und dynamische Elemente visualisiert werden. Statische Elemente bestehen vor allem aus Text- und Grafikbausteinen, dynamische veranschaulichen Prozesswerte, z.B. Füllstände.

Funktionstasten können im WinCC programmiert werden und werden beim Betätigen durch den Bediener getriggert.

Es ist darauf zu achten, Bilder nicht mit zu vielen Informationen zu überladen, um die Reizschwelle des Bedieners nicht zu überschreiten. Sonst könnte es zum fehlerhaften Informationsaustausch zwischen Bediener und Maschine kommen. Um dies zu

vermeiden, gibt es das System der Ebenentechnik. Ein Bild besitzt 32 Ebenen, von denen immer eine aktiv ist. So können verschiedene Ebenen bei bestimmten Prozessszenarien ausgeblendet werden, um das Bild nicht zu überladen [TIA].

### **4.2.7 Rezepturen**

Rezepturen finden ihre Anwendung, wenn Maschinen für mehrere Produkte ausgelegt werden müssen. Sie beinhalten zusammengehörige Daten zum jeweiligen Produkt, z.B. Maschinenparameter. Diese sind essenziell, um eine schnelle und sichere Produktumstellung softwaremäßig zu gewährleisten. Sie werden auf einem externen Bediengerät gespeichert. Eine Rezeptur wird durch eine feste Datenstruktur mit unterschiedlichen Prozesswerten charakterisiert. Nach dem Erstellen bzw. Laden einer Rezeptur greifen mehrere Rezepturelemente auf bestimmte Variablen zu, um darauf vorher festgelegte Werte zu schreiben. Alle Elemente werden mit ihren Werten in Rezepturdatensätzen zusammengefasst. Die Anlage übernimmt in Echtzeit die, in der Rezeptur, gespeicherten Werte. Die Produktionsdaten können im Betrieb zwischen Steuerung und Bedienung in Echtzeit übertragen werden.

Je nach Einsatzgebiet können verschiedene Varianten der Anwendung von Rezepturen realisiert werden. Mit dem Teach-In-Verfahren werden Produktionsdaten von Hand eingelernt und als Datensatz gespeichert. Dieses Verfahren wird meist in der Fertigungsindustrie angewendet. Eine andere Möglichkeit ist die manuelle Parametrierung durch den Bediener am Bediengerät. Diese kann auch in Echtzeit erfolgen, um nachträglich Prozessanpassungen vorzunehmen. Im Bereich der automatischen Produktion kann eine Produktumstellung sowohl vom Bediener als auch vom Steuerungsprogramm durchgeführt werden [TIA].

### **4.2.8 Zyklen**

Sich immer wiederholende Prozesse sind durch Zyklen beschrieben. Klassische Beispiele sind der Erfassungszyklus und der Archivierungszyklus. Im Erfassungszyklus werden Werte von externen Variablen in bestimmten Intervallen wiederholt ausgelesen. Die Intervallabschnitte können vom Bediener selbst gewählt werden. Es bestehen bereits feste Erfassungsintervalle, jedoch ist ein benutzerdefiniertes Intervall möglich. Die kleinste Erfassungszeit ist 100ms, die anderen Zeiten beruhen auf Vielfachen der kleinsten Zykluszeit.

Im Archivierungszyklus speichert die Steuerung Prozesswerte in einer Datenbank. Der Bediener kann im späteren Verlauf auf die Werte zugreifen [TIA].

## 4.3 HMI Visualisierung

Im folgenden Kapitel werden die, für die Visualisierung relevanten, Variablen aufgeführt. Jede Station besitzt eigene Variablen, die für die Visualisierung von Bedeutung sind. Dabei unterscheiden sie sich in boolesche Variablen, Systemvariablen (Taktmerker) und Variablen aus Datenbausteinen des Projektes.

### 4.3.1 Variablenliste

Station 1:

Tabelle 2: Ein-/Ausgangsvariablen Station 1

Klemmenbezeichnung	SPS-Eingang/Ausgang	Kommentar
XEMG	I0.0	0=Not-Halt-Schlagtaster (n.c.)
xW1MA1	I1.0	Band 1 Temperaturschutz
xW2MA1	I1.1	Band 2 Temperaturschutz
xW3MA1	I1.2	Band 3 Temperaturschutz
xW4MA1	I1.3	Band 4 Temperaturschutz
xW5MA1	I1.4	Band 5 Temperaturschutz
xW6MA1	I1.5	Band 6 Temperaturschutz
xW7MA1	I1.6	Band 7 Temperaturschutz
xW8MA1	I1.7	Band 8 Temperaturschutz
xV1BG2	I25.1	Tripod: Tray auf WT
xW1QA1	Q50.0	Band 1 Längs
xW2QA1	Q50.4	Band 2 Quer
xW3QA1	Q51.0	Band 1 Längs
xW4QA1	Q51.4	Band 1 Quer
xW5QA1	Q52.0	Band 1 Längs
xW6QA1	Q52.4	Band 1 Quer
xW7QA1	Q53.0	Band 1 Längs
xW8QA1	Q53.4	Band 1 Quer
XF0_5Hz	M0.7	Taktzeit 2s
xF1Hz	M0.5	Taktzeit 1s
Datenbausteine		
diCount		
xReset		
xAuto		
xMan		
xBusy		

Station 2:

Tabelle 3: Ein-/Ausgangsvariablen Station 2

Klemmenbezeichnung	SPS-Eingang/Ausgang	Kommentar
XEMG	I0.0	0=Not-Halt-Schlagtaster (n.c.)
xW20BG1	I33.0	Tray am Zuführband
xW20BG4	I33.3	Tray in Abholposition für Scara
xW20BG7	I35.0	Tray am Auslaufband
xW20BG9	I35.2	Tray am Stopper Auslaufband
xW20BG10	I35.3	Tray in Abholposition für Benutzer
xQA1_re	Q0.4	Transportband 1 einschalten
xQA1_sl	Q0.6	Transportband 1 langsam
xQA2_re	Q0.5	Transportband 2 einschalten
xQA2_sl	Q0.7	Transportband 2 langsam
xH2BG1	I10.0	Füllstandabfrage Zylinder ausgefahren
xH2BG2	I10.1	Füllstandabfrage Zylinder eingefahren
xH2BG3	I10.2	WT auf Ablegeplatz
xH2BG30	IW70	Füllstandssensor Reihe 1 0V=keine FI; 10V=mit Deckel
xH2BG31	IW72	Füllstandssensor Reihe 2 0V=keine FI; 10V=mit Deckel
xH2BG32	IW74	Füllstandssensor Reihe 3 0V=keine FI; 10V=mit Deckel
XF0_5Hz	M0.7	Taktzeit 2s
xF1Hz	M0.5	Taktzeit 1s
Datenbausteine		
Ready		
Error		
xAuto		
xMan		
Error Not Aus		

### Station 3:

Tabelle 4: Ein-/Ausgangsvariablen Station 3

Klemmenbezeichnung	SPS-Eingang/Ausgang	Kommentar
xEMG	I0.0	0=Not-Halt-Schlagtaster (n.c.)
xW30BG7	I13.2	Dosierscheibe Tank 1 in Pos.
xW30BG8	I13.3	Granulat in Tank 1
xW30BG11	I13.6	Dosierscheibe Tank 2 in Pos.
xW30BG12	I13.7	Granulat in Tank 2
xW30QA30	Q12.0	Motor Dosierung Granulat Tank 1
xW30QA31	Q12.1	Motor Dosierung Granulat Tank 2
xQA1_re	Q0.4	Band 1 vw
xQA1-li	Q0.5	Band 1 rw
xQA1_sl	Q0.6	Band 1 langsam
xQA2_5_re	Q1.0	Band 2-5 vw
xQA2_5_li	Q1.1	Band 2-5 rw
xQA2_5_sl	Q1.2	Band 2-5 langsam
xQA6_re	Q1.4	Band 6 vw
xQA6_li	Q1.5	Band 6 rw
xQA6_sl	Q1.6	Band 6 langsam
xH3BG1	I10.0	Tray auf Ablegeplatz 1
xH3BG2	I10.1	Tray auf Ablegeplatz 2
XF0_5Hz	M0.7	Taktzeit 2s
xF1Hz	M0.5	Taktzeit 1s
Datenbausteine		
iMaxCount		
iOpNo		
iCount		
iActCount		
Error Not Aus		

### 4.3.2 Verwendete HMI-Elemente

In diesem Kapitel werden alle relevanten Objekte zur Visualisierung aufgezeigt. Die dargestellten Oberflächen dienen ausschließlich zur Projektierung von Prozesswerten aus der Anlage, nicht zur Anlagensteuerung. Augenmerk wird dabei auf Betriebszeiten von Förderbändern und Füllstände der Behälter und Gefäße gelegt. Zudem werden Prozessdaten der Roboter abgefragt und veranschaulicht.

- Textfeld:

Das Textfeld dient zur Beschriftung der Oberflächen.

- Grafikanzeige:

Für die Veranschaulichung der Stationen sind externe Grafikdateien in die Oberflächen integriert. Hierbei handelt es sich um JPG-Dateien.

- E/A-Feld:

Sie dienen zur Projektierung der Betriebszeiten der Förderbänder und die Anzahl der Befüllvorgänge in Station 3.

- Schaltfläche:

Mit Hilfe der Schaltflächen werden Endlagen von Zylindern und Robotern dargestellt. Weiterhin werden mit ihnen Statusmeldungen der Anlage, z.B. Fehlermeldungen der Roboter oder Wartungsmeldungen, visualisiert. Zusätzlich besitzen die Schaltflächen die Bedienungsfunktion des HMIs.

- Datum/Uhrzeit-Feld:

Auf jedem Bild ist das Datum und die Uhrzeit der Systemzeit des HMIs abgebildet.

- Balken:

Mit den Balkengrafiken werden die Füllstände der Gefäße bei der Füllstandskontrolle in Station 2 visualisiert.

### **4.3.3 Gestaltung der Oberfläche**

Die Visualisierung der Anlage umfasst insgesamt vier Bildoberflächen. Diese bestehen aus dem Startbild und drei stationsgebundenen Bildern, die jeweils nur die Prozesswerte ihrer zugeteilten Station abbilden. Jedes Bild besitzt eine Kopfzeile, die den Ersteller, den Stationsnamen und das Datum und die Uhrzeit beinhalten. Es ist durch Bedientasten, die im unteren Teil eines jeden Bildes angebracht sind, möglich, zwischen den einzelnen Bildern hin und her zu wechseln. Mit der Schaltfläche „Zurück“ kann die zuletzt verwendete Oberfläche aufgerufen werden. Weiterhin ist in den Stationsbildern jeweils ein Abbild der Station dargestellt, die aus dem Projektordner der Anlage entnommen sind.

Bild 1 spiegelt Prozesswerte der Station 1 (Tripod-Zelle) wider. Hier wird das Augenmerk hauptsächlich auf die Betriebszeiten und den Temperaturschutz der Bänder gelegt. Wartungs- und Temperaturschaltfläche werden bei jeweiliger Variablenwertänderung (0 auf 1) rot dargestellt. Zudem sind diese Schaltflächen nur beim Variablenwert = 1 auf der Oberfläche zu sehen. Statusmeldungen des Tripods, z.B. Betriebsart oder Fehlermeldungen, und die Positionserfassung des Trays werden ebenfalls angezeigt.

Wie in Bild 1 werden in Bild 2 (Scara-Zelle) die Betriebszeiten und Wartungsmeldungen der Förderbänder angezeigt. Hierbei handelt es sich konkret um das Zu- und das Abführband für die Trays. Auch Roboterdaten, z.B. Zustand des Servos, werden abgebildet. Für die Füllstandsüberprüfung der Gefäße am HMI kommen drei Balkengrafiken zum Einsatz. Die Füllstandsskala ist hierbei an den vom Sensor übermittelten Wert angepasst.

Bild 3 ist ähnlich zu den anderen Bildern aufgebaut. Zusätzlich zur Betriebszeiterfassung und zu den Statusmeldungen des Roboters bzw. Positionserfassungen des Trays werden zwei Grafiken zum Zählen der Befüllungen verwendet. Jeder der zwei Tanks besitzt eine Drehscheibe, die jeweils mit einem Sensor ausgestattet sind. Bei jeder Befüllung dreht sich die Drehscheibe weiter und der Sensor wechselt seinen Zustand. Diese Zustandsänderungen entsprechen der Anzahl der Befüllungen und werden auf der Oberfläche abgebildet.

Alle Bilder des HMIs TP2200 Comfort sind im Anlagenverzeichnis einzusehen.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Abschließend wird die Arbeit zusammengefasst und es werden die wichtigsten Ergebnisse präsentiert. Zudem wird ein Ausblick für mögliche Verbesserungsmöglichkeiten der Anlage gegeben.

### **5.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse**

Im Laufe der Wiederinbetriebnahme der Anlage hat sich gezeigt, dass sie einen guten Einstieg in Themen der Digitalisierung bzw. der Industrie 4.0 liefert. Durch einfache Bauweise werden verschiedene Schwerpunkte der Automatisierung veranschaulicht, z.B. Sensorik/Aktorik, RFID-Systeme, MES-Strukturen, Robotersteuerungen, Förderprozesse und der modulare Anlagenbetrieb. Softwarepakete sind annähernd auf dem neuesten Stand. Hardwareseitig befindet sich die Anlage auf einem guten Stand der heutigen Technik, jedoch sind einzelne Komponenten verschlissen (z.B. Förderbänder) bzw. ungünstig gewählt (z.B. Sensorik), um eine geeignete Visualisierung von Prozesswerten vorzunehmen. Aufgrund langer Standzeiten müssen einige Bänder des umlaufenden Fördersystems erneuert werden. Ein Tausch einiger Bänder wurde während der Wiederinbetriebnahme durchgeführt. Ansonsten könnten Werkstücke nicht präzise transportiert bzw. an andere Stationen übergeben werden, wodurch Verzögerungen im Prozess entstehen können. Zudem kann ein Tausch der Batterien der Roboter notwendig sein. Infolgedessen muss ggf. eine Neuparametrierung einzelner Referenzpunkte vorgenommen werden. Das manuelle „Teachen“ wird mit Hilfe der Teaching Box (R32TB) bzw. der Robotersoftware am PC durchgeführt. Positionen werden angefahren und die Koordinaten werden in das Programm übernommen. Nach der Parametrierung und einem anschließenden Testlauf der Anlage wird über das MES eine Rezeptur geladen und die Anlage kann über die HMIs gestartet werden. Eine Auswahl an anlagenspezifischen Prozesswerten werden nun auf dem zentralen HMI (TP2200 Comfort) abgebildet.

### **5.2 Ausblick**

Trotz guter Hard- und Softwarekomponenten der Anlage besteht immer die Möglichkeit, eine solche Anlage durch modernere und intelligentere Programme bzw. Bauteile zu verbessern. Eine Modernisierung der Software wäre hier jedoch nicht sinnvoll, da bereits im Laufe der Wiederinbetriebnahme eine Aktualisierung durchgeführt wurde. Im Gegensatz dazu wäre der Tausch einiger Bauteile ratsam. Für die Füllstandsmessung der Behälter in Station 3 kommen kapazitive Sensoren zum Einsatz. Hier empfiehlt es

sich, diese durch Ultraschallsensoren zu ersetzen, um auch bei der Visualisierung ein besseres Abbild zum Füllstand zu erhalten. Diese Änderung muss im Anlagenprogramm berücksichtigt werden und es ist ggf. eine Anpassung im TIA-Projekt notwendig. Geräte der Anlage kommunizieren über PROFINET/Industrial Ethernet, was dem aktuellen Industriestandard entspricht. Hier wäre die Überlegung der Einführung des IO-Link-Standards zu diskutieren, um so den Kabelaufwand für anstehende Wartungen zu reduzieren. Dabei würde die Kommunikation über PROFINET weiterhin bestehen bleiben, lediglich die Kommunikation der Geräte untereinander müsste angepasst werden. Hierbei stellt sich jedoch die Frage der Rentabilität.

Weitere Verbesserungen können im Verlauf der Wiederinbetriebnahme anfallen. Da diese jedoch im Zeitraum der Bachelorarbeit nicht abgeschlossen ist, können diese keinen Bestandteil der Arbeit bilden und wären reine Vermutungen des Verfassers.

# Literaturverzeichnis

- [BDS] Bilddatenbank Siemens. [Online 13.06.22]  
<https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?multipleObjectTypes=4|70>
- [Bin21] Thomas Bindel, Dieter Hofmann. (2021). *Projektierung von Automatisierungsanlagen - Eine effektive und anschauliche Einführung; 4. Auflage*. [Online 21.03.22]. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-33478-9.pdf>
- [Dev] devicebase. [Online 23.05.22]. <https://devicebase.net/de/pi-profibus/fragen/was-ist-der-unterschied-zwischen-profibus-und-profinet/5g2>
- [Ele] Elektronik Kompendium [Online 23.05.22]. <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0503281.htm>
- [Fes] Festo. [Online 23.05.22]. <https://www.festo-didactic.com/de-de/training-and-consulting/seminare-weltweit/fbid=ZGUuZGUuNTQ0LjEzLjMxLjQxNjQ&&cc=533&id=5446>
- [Gse] GS-Electronics. [Online 08.04.22]. <http://www.gs-electronics.nl/comp-html/vbsdcs/vbs3.htm>
- [Han15] Martin Hankel, Bosch Rexroth. (2015). *Industrie 4.0: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*. [Online 30.03.22]. [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Themen/Industrie\\_4.0/Das\\_Referenzarchitekturmodell\\_RAMI\\_4.0\\_und\\_die\\_Industrie\\_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4\\_0-RAMI-4\\_0.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf)
- [Hel] Prof. Dr. Peter Helm. *Gebäudesystemtechnik Industrie- und Internet-Kommunikationssysteme*. [Vorlesungsunterlagen zum Modul Gebäude- und Systemtechnik der Hochschule Merseburg]
- [IoI] IO-Link Firmengemeinschaft, c/o PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO). *IO-Link Systembeschreibung - Technologie und Anwendung*. [Online 03.06.22]. [https://sensorinstruments.de/pdf/IO-Link\\_Systembeschreibung.pdf](https://sensorinstruments.de/pdf/IO-Link_Systembeschreibung.pdf)
- [Itd] Die IT-Datenbank. [Online 23.05.22]. <https://it-datenbank.com/topologien/>
- [Kam12] Marco Kammacher. (2012). *Bachelorarbeit - Realisierung einer Datenauswertung von SIMOCODE pro und Visualisierung mittels "InTouch" unter Verwendung einer azyklischen PROFIBUS-Kommunikation*. [Bachelorarbeit der Hochschule Merseburg im Fachbereich Informatik und Kommunikationssysteme, vorgelegt am 29.10.2012].

- [Kaw18] Cindy Kawetzki. (2018). *Steuerung einer Bandanlage mittels QR-Codescanner*. [Unterlagen zum Modul Fertigungsautomation an der Hochschule Merseburg].
- [Kun1] Kunbus. [Online 23.05.22]. <https://www.kunbus.de/topologien-und-systembausteine.html>
- [Kun2] Kunbus. [Online 23.05.22]. <https://www.kunbus.de/profibus-information.html>
- [Kun3] Kunbus. [Online 23.05.22]. <https://www.kunbus.de/profibus-feldbus.html>
- [Kun4] Kunbus. [Online 23.05.22]. <https://www.kunbus.de/profinet-grundlagen.html>
- [Rei17] Reinhardt Langmann. (2017). Taschenbuch der Automatisierung. [Online 22.05.22]. [https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=ruUIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=taschenbuch+der+automatisierung+pdf&ots=GJ3cP0MuAf&sig=yiqM\\_OBVOjXwxR9BKhQTkcpufrM#v=onepage&q=taschenbuch%20der%20automatisierung%20pdf&f=false](https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=ruUIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=taschenbuch+der+automatisierung+pdf&ots=GJ3cP0MuAf&sig=yiqM_OBVOjXwxR9BKhQTkcpufrM#v=onepage&q=taschenbuch%20der%20automatisierung%20pdf&f=false)
- [Rei21] Reinhardt Langmann. (2021). *Vernetzte Systeme für die Automatisierung 4.0 - Bussysteme - Industrial Ethernet - Mobile Kommunikation - Cyber-Physical-Systems; Leseprobe*. [Online 22.05.22]. [https://www.ingenieurbuch.de/media/blfa\\_files/9783446469396-Leseprobe.pdf](https://www.ingenieurbuch.de/media/blfa_files/9783446469396-Leseprobe.pdf)
- [Rie20] Wolfgang P. Riegelmayr. (2020). *Industrie 4.0 - Vernetzungen für die digitale Fabrik; Leitungstechnik, Schnittstellen, Leistungsmerkmale, Gestaltungs- und Auslegungsprinzipien*. München: Carl Hanser Verlag.
- [Ros19] Prof. Dr. Mark Ross. (28.09.2019). *Automatisierungstechnik*. [Online 22.05.22]. [https://www.hs-koblenz.de/fileadmin/media/profiles/ingenieurwesen\\_elektrotechnik\\_und\\_informationstechnik/ross/AUT/Material/AUT-slides.pdf](https://www.hs-koblenz.de/fileadmin/media/profiles/ingenieurwesen_elektrotechnik_und_informationstechnik/ross/AUT/Material/AUT-slides.pdf)
- [Sch17] Markus Schmid, Thomas Maier. (2017). *Technisches Interface Design - Anforderungen, Bewertung und Gestaltung*. [Online 21.03.22]. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-54948-3.pdf>
- [Sch18] Thomas Uffelmann, Markus Krabbes. (2018). *Automatisierung 4.0 - Objektorientierte Entwicklung modularer Maschinen für die digitale Produktion*. München: Carl Hanser Verlag.
- [Sei15] Fabian Seidel. (2015). *Bachelorarbeit - Ertüchtigung der Flachsleifmaschine ELB SF 30*. [Online 20.03.22]. [https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/6386/file/FSeidel\\_BA\\_PDF.pdf](https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/6386/file/FSeidel_BA_PDF.pdf)
- [TIA] TIA-Hilfeportal. [TIA V13 und V16]

[Uff20] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek, Dr. Myriam Jahn. (2020). *IO-Link - Schlüsseltechnologie für Industrie 4.0; Band 1: Anwendung*. Essen: Vulkan Verlag.

[Vog]. Elektrotechnik.Vogel. [Online 02.06.22]. <https://www.elektrotechnik.vogel.de/was-ist-human-machine-interface-definition-geschichte-beispiele-a-718202/>

[Wae18] Michael Wächter. (2018). *Gestaltung tangibler Mensch-Maschine-Schnittstellen – Engineering-Methode für Planer und Entwickler*. [Online 21.03.22]. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-27666-9.pdf>

[Wag18] Rainer Maria Wagner. (2018). *Industrie 4.0 für die Praxis - Mit realen Fallbeispielen aus mittelständischen Unternehmen und vielen umsetzbaren Tipps*. [Online 22.05.22]. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-21118-9.pdf>

[Wie05] Hans-Peter Wiendahl, Dirk Nofen, Jan Hinrich Klußmann, Frank Breitenbach. (2005). *Planung modularer Fabriken - Vorgehen und Beispiele aus der Praxis*. München Wien: Carl Hanser Verlag.

[Xu16] Yang Xu. (2016). *Visualisierung eines SimotionSystems*. [Online 20.03.22]. <https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/8727/file/Bachelorarbeit-abgeben.pdf>

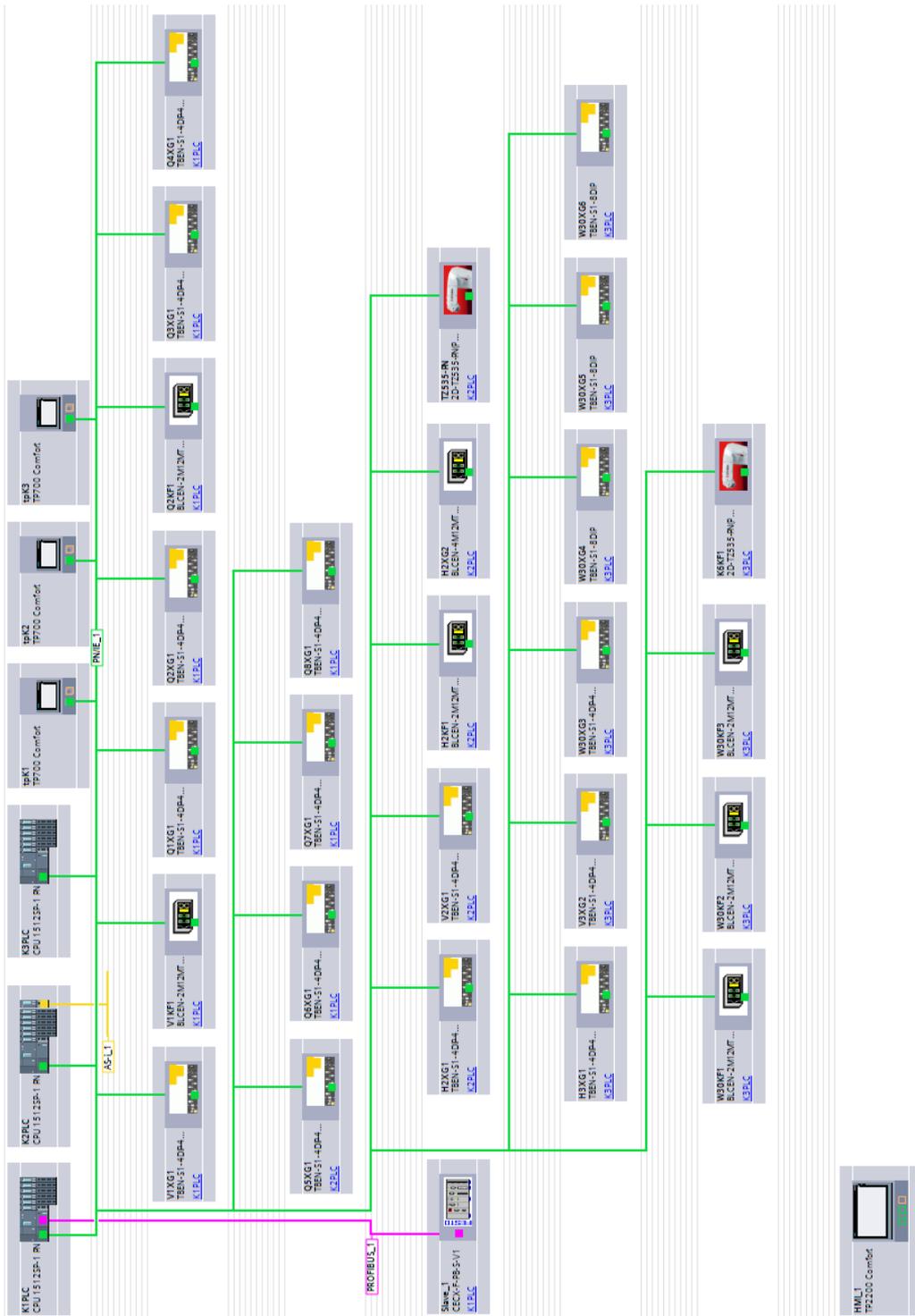
# Anlagen

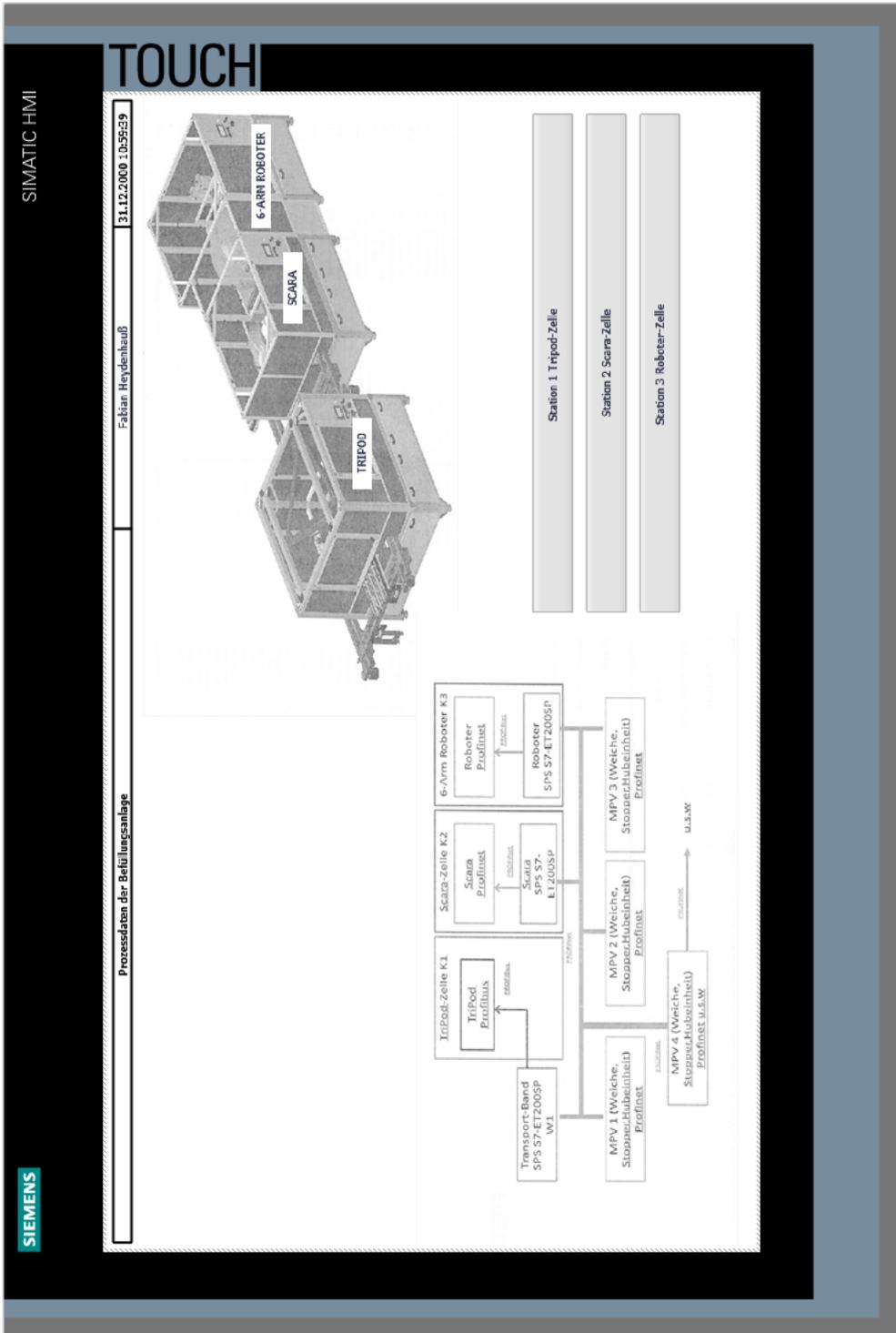
- Anlage 1            Geräte und Netze im Anlagenprojekt(1 Seite)
- Anlage 2            HMI-Oberflächen (4 Seiten)

# Anlage 1

## Seite 1

### Geräte und Netze im Anlagenprojekt





TOUCH

SIEMENS SIMATIC HMI

31.12.2000 10:55:59

Fabian Heydenhauf

Station 1 Tripod-Zelle

Betriebszeiten		Temperatur	
Band 1	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 2	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 3	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 4	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 5	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 6	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 7	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung
Band 8	Stunden 0:00	Minuten 0:00	Wartung

Tray

Tray auf WT

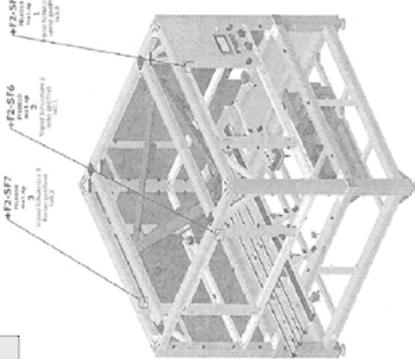
Tripod

Tripod bereit

Automatik

Fehler

Tripod bearbeitet Aufgabe



F2-SF5  
F2-SF6  
F2-SF7

Testknopf

Station 1 Station 2 Station 3 Startbild Zurück

TOUCH

SIEMENS SIMATIC HMI

31.12.2000 10:55:59

Fabian Heydenhauf

Station 2 Scara-Zelle

Betriebszeiten

Zuführband	Stunden	Minuten	Sekunden	Wartung
Abföhrband	Stunden	Minuten	Sekunden	Wartung
Test Betriebszeit	Stunden	Minuten	Sekunden	

00:00 00:00 00:00

00:00 00:00 00:00

00:00 00:00 00:00

Füllstände

Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3
33000 24000 18000 16500 9000 0	33000 27000 18000 16500 9000 0	33000 27000 18000 16500 9000 0

Scara

Programm läuft

Servo EIN

Batterie

Grundposition

Fehler

Zylinder

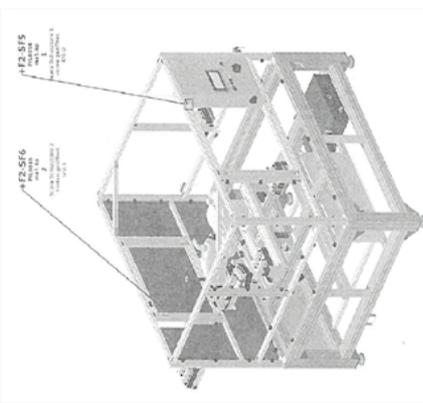
Zylinder eingefahren

Zylinder ausgefahren

Trey

Alle Position für Benutzer

Alle Position für Scara



#F2-S1/6  
#F2-S1/5

Station 1 Station 2 Station 3 Startbild Zurück

TOUCH

SIEMENS SIMATIC HMI

31.12.2000 10:55:59

Fabian Heydenhauf

Station 3 6-Arm-Roboter-Zelle

**Betriebszeiten**

Band 1	Stunden	Minuten	Sekunden	Wartung
	000	000	000	

**Bänder-2-5**

Stunden	Minuten	Sekunden	Wartung
000	000	000	

**Band 6**

Stunden	Minuten	Sekunden	Wartung
000	000	000	

**Tray**

Tray 1 belegt	Tray 2 belegt
---------------	---------------

**Roboter**

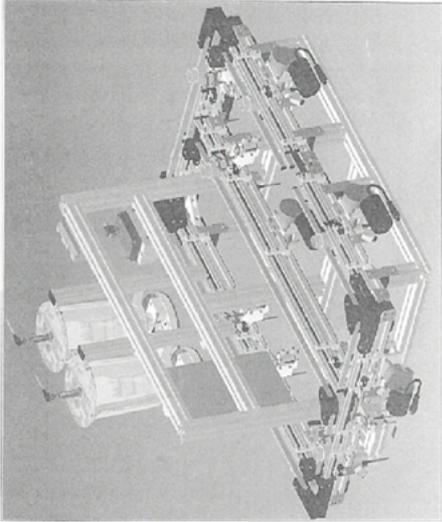
Programm läuft	Grundposition
Servo EIN	Fehler
Batterie	

**Füllstände**

Tank 1	Voll	Anzahl Befüllungen	Wartung
	Leer	000	

**Tank 2**

Voll	Anzahl Befüllungen	Wartung
Leer	000	



Test Betriebszeit

Station 1 Station 2 Station 3 Startbild Zurück